

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**OPTIMIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE  
OPEKARSKIH PROIZVODA**

ZAVRŠNI RAD

**Predrag Grahovac**, dipl. ing. stroj.

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**OPTIMIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE  
OPEKARSKIH PROIZVODA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

**Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić**

Student:

**Predrag Grahovac, dipl.ing.stroj.**

Zagreb, 2014.



## PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

UDK: 331:666.71/72

Ključne riječi: Optimizacija procesa proizvodnje, Six Sigma, DMAIC, Reinženjering poslovnih procesa

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Strojarsstvo

Institucija u kojoj je rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Mentor rada: Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić, red. prof.  
Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu

Broj stranica: 154

Broj slika: 63

Broj tablica: 8

Broj korištenih bibliografskih jedinica: 22

Datum obrane: 04.09.2014.

Povjerenstvo: Dr. sc. Goran Đukić, izv. prof. Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu – predsjednik povjerenstva  
Dr. sc. Nedeljko Štefanić, red. prof. Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu – voditelj završnog rada  
Dr. sc. Ivica Veža, red. prof. Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu – član povjerenstva

Institucija u kojoj je rad pohranjen: Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb



Zagreb, 24. 2. 2014.

## Zadatak za završni rad

Kandidat: **PREDRAG GRAHOVAC, dipl.ing.**

Naslov zadatka: **OPTIMIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE OPEKARSKIH PROIZVODA**

### Sadržaj zadatka:


Jedan od najvažnijih ciljeva proizvodnih poduzeća je učinkovito transformirati resurse poduzeća u gotove proizvode. Najvažniji dio te transformacije su procesi, a kroz uspješnost njihovog provođenja mjeri se ukupna uspješnost proizvodnog poduzeća. Proces poduzeća mogu se podijeliti u dvije grupe: glavni odnosno temeljni te potporni ili podržavajući. Glavni ili temeljni procesi okrenuti su prema samoj proizvodnji dok su potporni ili podržavajući procesi povezani sa krajnjim korisnicima. Da bi bili uspješni i održali se na tržištu, svako poduzeće treba kontinuirano raditi na povećanju učinkovitosti svojih procesa rada. Danas se u praksi koristi veliki broj metoda i tehnika unapređenja procesa: Vitki menadžment, Six Sigma, Reinženjering poslovnih procesa, Kaizen, Benchmarking, Vizualni menadžment i druge. Primjenom spomenutih metoda i tehnika, poduzeća postižu se u relativno kratkom vremenu značajno povećanje učinkovitosti kroz smanjenje gubitaka u radu, skraćivanje vremena rada, smanjenje zaliha, povećanje kvalitete rada, motiviranje zaposlenike, povećanje sigurnosti pri radu, poboljšanje izgleda prostora, zadovoljne korisnike te manje troškove. Zajedničko obilježje spomenutih metoda i tehnika je da se provode kroz tri faze: snimanje postojećih procesa, analiza načina rada sa prijedlozima unapređenja te uvođenje poboljšanog načina odvijanja procesa.

Na primjeru proizvodnje opekarskih proizvoda potrebno je primijeniti najmanje dvije suvremene metode proizvodnog menadžmenta te kroz analizu tehnoloških i proizvodnih procesa sistematizirati vrste gubitaka te predložiti načine njihova otklanjanja. Kroz istodobno postavljenu metriku parametara proizvodnje opekarskih proizvoda potrebno je osigurati kontinuirano unapređenje proizvodnih procesa te praćenje kvalitete proizvoda i procesa.

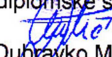
Zadatak zadan: 18.03.2014.

Rad predan:

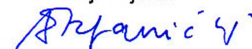
Mentor:

  
Dr.sc. Nedeljko Štefanić  
red. prof.

  
Predsjednik Odbora za  
poslijediplomske studije:

  
Dr.sc. Dubravko Majetić  
red. prof.

Voditelj smjera:

  
Dr.sc. Nedeljko Štefanić,  
red. prof.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem mentoru, prof. dr. sc. Nedeljku Štefaniću na podršci, savjetima i primjedbama tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem roditeljima.

U Zagrebu, 2014.

Predrag Grahovac

## SADRŽAJ

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| PREDGOVOR .....                                          | IX   |
| SAŽETAK.....                                             | X    |
| SUMMARY .....                                            | XII  |
| POPIS OZNAKA .....                                       | XIIV |
| POPIS SLIKA .....                                        | XVII |
| POPIS TABLICA.....                                       | XXI  |
| <br>                                                     |      |
| 1. UVOD .....                                            | 1    |
| 1.1 Opis problema i ciljevi optimiranja.....             | 2    |
| 2. SIX SIGMA .....                                       | 4    |
| 2.1 Povijest Six sigme.....                              | 4    |
| 2.2 Statističko značenje Six sigme.....                  | 6    |
| 2.3 Ciljevi Six sigme.....                               | 7    |
| 2.4 Šest okvira Six sigme.....                           | 8    |
| 2.5 Uloge u Six sigmi .....                              | 11   |
| 3. METODE PROVOĐENJA SIX SIGMA PROJEKATA .....           | 13   |
| 3.1 Definiranje DMAIC projekta (D).....                  | 14   |
| 3.2 Mjerenje procesa DMAIC projekta (M).....             | 17   |
| 3.3 Analiza procesa DMAIC projekta (A) .....             | 20   |
| 3.4 Poboljšavanje procesa DMAIC projekta (I) .....       | 23   |
| 3.5 Kontrola poboljšanja procesa DMAIC projekta (C)..... | 28   |
| 3.6 Six sigma alati.....                                 | 31   |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 4. REINŽENJERING POSLOVNIH PROCESA .....                                   | 45 |
| 4.1 Povijest Reinženjeringa poslovnih procesa.....                         | 48 |
| 4.2 Četiri okvira Reinženjeringa poslovnih procesa .....                   | 50 |
| 4.3 Uloge u Reinženjeringu poslovnih procesa.....                          | 51 |
| 4.4 Informacijske tehnologije u Reinženjeringu poslovnih procesa.....      | 53 |
| 4.5 Metodologija Reinženjeringa poslovnih procesa .....                    | 55 |
| 4.6 Primjena Reinženjeringa poslovnih procesa .....                        | 58 |
| 5. PRIKAZ PROCESA PROIZVODNJE OPEKARSKIH PROIZVODA.....                    | 64 |
| 5.1 Proces dobave i skladištenja sirovina .....                            | 65 |
| 5.2 Proces primarne prerade .....                                          | 69 |
| 5.3 Proces oblikovanja.....                                                | 72 |
| 5.4 Proces sušenja .....                                                   | 74 |
| 5.5 Proces pečenja .....                                                   | 78 |
| 5.5.1 Minerali u procesu pečenja.....                                      | 79 |
| 5.5.2 Tijek procesa pečenja u opekarskim pećima.....                       | 80 |
| 5.5.3 Karakteristične temperature procesa pečenja .....                    | 82 |
| 5.5.4 Opis tehnološkog procesa tunelske peći .....                         | 83 |
| 5.5.5 Sustav stacionarne dijagnostike procesa pečenja.....                 | 87 |
| 5.5.6 Parametri tunelske peći i procesa pečenja opekarskih proizvoda ..... | 89 |
| 5.6 Istovar i pakiranje.....                                               | 93 |
| 5.7 Skladištenje opekarskih proizvoda.....                                 | 93 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 6. OPTIMIRANJE PROCESA PROIZVODNJE OPEKARSKIH PROIZVODA ..... | 94  |
| 6.1 Optimiranje procesa primarne prerade i oblikovanja .....  | 99  |
| 6.2 Optimiranje procesa sušenja .....                         | 106 |
| 6.3 Optimiranje procesa pečenja .....                         | 115 |
| 7. ZAKLJUČAK .....                                            | 148 |
| 8. LITERATURA .....                                           | 151 |
| Životopis .....                                               | 153 |
| Biography .....                                               | 154 |

## **PREDGOVOR**

Proces proizvodnje opekarskih proizvoda vrsta je kontinuiranog proizvodnog procesa kojeg odlikuje visoka razina volumena proizvodnje, visoko standardiziran proizvod, visokospecijalizirana oprema, te visoki troškovi proizvodnje i zastoja, kao i kontinuiranost proizvodnje 24 sata dnevno i 365 dana u godini. Nadalje, važna karakteristike takve proizvodnje je i veliki udio troškova energije (prirodnog plina, električne energije), koji se može kretati i do 60% ukupnih proizvodnih troškova. Stoga, veliki dio aktivnosti u procesu optimiranja proizvodnje usmjeren je prema reduciranju potrošnje energije u proizvodnom procesu.

Takva orijentacija optimiranja proizvodnog procesa dobiva na važnosti i značaju u uvjetima drastičnog povećanja troškova energije u nekoliko recentnih godina, te u uvjetima urušavanja tržišta opekarskih proizvoda koje je imalo za posljedicu da je cijena proizvoda postala gotovo jedini kriterij uspješnosti proizvodnog procesa i temelj konkurentske prednosti na tržištu. Može se zaključiti da je optimiranje procesa proizvodnje, u prvom redu reduciranje proizvodnih troškova, posebice troškova energije, najvažniji preduvjet nastavka uspješnog poslovanja i opstanka na tržištu.

## SAŽETAK

Optimiranje proizvodnog procesa podrazumijeva detaljno poznavanje: tehnologije proizvodnje, tehnoloških parametara, karakteristika i mogućnosti instaliranih uređaja i strojeva, proizvodnih procedura i tehničke dokumentacije, te obučenosti i iskustva zaposlenika. Proces optimiranja proizvodnje u opekarskoj industriji često se provodi pomoću metodologije Six sigma – DMAIC s intencijom kontinuiranog poboljšavanja proizvodnog procesa u cilju reduciranja troškova proizvodnje, smanjenja varijacija procesa, podizanja razine kvalitete, te konačno zadovoljenjem zahtjeva i želja kupaca.

U uvodnom dijelu rada objašnjen je teoretski pristup procesa optimiranja, važnosti i ciljevi koji se postavljaju pred proces optimiranja. Prikazane su, nadalje, specifičnosti procesa optimiranja u području proizvodnje opekarskih proizvoda s aspekta pristupa rješavanja problema i kriterija prema kojim se vrše poboljšanja.

Nadalje, objašnjen je pojam Six sigme, uspješne poslovne filozofije koja se fokusira na kontinuirano poboljšavanje na način da zadovoljava zahtjeve kupaca, analizira poslovne procese i pokreće metode mjerenja u cilju reduciranja varijacija procesa. Prikazana je povijest metode, njezina statistička dimenzija, iscertane su specifične uloge u Six sigma timu, te su naznačeni ciljevi primjene.

Imajući u vidu da je cilj: poboljšati postojeći proces proizvodnje opekarskih proizvoda, odabrana je DMAIC primjena Six sigma metodologije. DMAIC je strukturirana metoda u pet stupnjeva koja daje mogućnost jasnog definiranja željene razine poboljšavanja, zatim mjeri postojeću efikasnost procesa, upućuje na uzroke odstupanja procesa od idealnog stanja, eliminira uzroke odstupanja i uvodi kontrolu procesa u cilju održavanja poboljšanog procesa. Također, obrađeni su i specifični alati, koji su se pokazali vrlo korisnim u primjeni DMAIC metodologije, kao što su: Pareto dijagram, Dijagram uzroka i posljedica, Dijagram toka i dr. U okviru alata Six sigme prikazan je programski paket Sigmaflow, aplikativno rješenje za uporabu spomenute metodologije, analize, vizualizaciju procesa i simulacije, kojim se može prikazati odvijanje novog ili izmijenjenog procesa, kao i rezultate i postignutu efikasnost procesa.

U slijedećem poglavlju prikazana je metoda Reinženjeringa poslovnih procesa, koja je u mnogim svojom karakteristikama suprotnost metodi Six sigma. Metoda odbacuje kontinuirani



proces poboljšavanja, te time i postojeći proces. Reinženjering zahtijeva ponovno temeljito i radikalno definiranje procesa od samog početka u cilju ostvarivanja dramatičnih poboljšanja. Na kraju poglavlja prikazane su mogućnosti i primjer primjene u proizvodnji opekarskih proizvoda.

U petom poglavlju detaljno se analizira proces proizvodnje opekarskih proizvoda od procesa dobave i skladištenja sirovina, do završnog procesa skladištenja gotovih proizvoda. Naime, svaki pojedini proces detaljno je opisan i analiziran, dan je tehnički opis i tehnologija proizvodnje, primijenjeni uređaji i strojevi, kao i tehnološki parametri.

U šestom poglavlju nalazi se praktična primjena DMAIC metodologije u procesu proizvodnje opekarskih proizvoda. Detaljno su prikazani primjeri optimiranja u procesu primarne prerade i oblikovanja, te u procesu sušenja sa posebnim naglaskom na trajno iskorištavanje otpadne energije. Pošto je proces pečenja ključan u pogledu gotovo svakoga kriterija, optimiranje procesa pečenja je prikazano osobito detaljno, zatim je na temelju prikazanih mjerenja izvršena analiza, koja je rezultirala konkretnim mjerama poboljšanja. Izvršena je simulacija postojećeg procesa pečenja i izmijenjenoga integriranim mjerama poboljšanja, u cilju potvrde ispravnosti uvođenja mjera poboljšanja. Na kraju poglavlja dat je pregled implementacije predloženog rješenja.

## SUMMARY

Production process optimization involves a detailed knowledge of the production technology, its parameters, characteristics and capabilities of installed equipment and machinery, manufacturing procedures and technical documentation, training and experience. Optimization process of brick production is often carried out through the methodology of Six Sigma - DMAIC with the intention of continuous improvement of the production process in order to reduce production costs, reduce process variation, raising quality and finally to meet the demands and wishes of the customers.

In the introduction, the theoretical approach of the optimization process is defined, the importance and the objectives that are put before process optimization. Specifics of brick production process optimization are shown in terms of problem solving approach and adopted improvement criteria.

Furthermore, it is explained the concept of Six Sigma, a successful business philosophy that focuses on continuous improvement in the way that meets customer requirements, it analyzes business processes and starts measurement methods in order to reduce process variation. It shows the method history, its statistical nature, specific roles of Six Sigma team and application objectives.

Having in mind that plan is improving the existing process of brick production, the selected application is DMAIC Six Sigma methodology. DMAIC is a structured method in five stages, which gives us the ability to clearly define the desired level of improvement, measures the current process efficiency, suggests the causes of process deviations from ideal conditions, eliminates the causes of deviations and introduces process control in order to maintain the improved process. Also, specific tools are shown, which have proven very useful in the application of DMAIC methodology, such as Pareto charts, cause and effect diagram, flowchart, etc. Within the Six Sigma tools it is shown Sigma Flow software, solution that is used for analyses, process visualization and simulation, which allows you to test performance of new or modified processes, as well as the achieved results and efficiency.

In the next chapter, business process reengineering is explained, which is contrary to many of Six sigma characteristics. Method rejects continuous process improvement, and therefore the

existing process. Reengineering requires thorough and radical re-definition of the process from the very beginning in order to achieve dramatic improvements. At the end of the chapter the capabilities and application examples in brick factory are shown.

In the fifth chapter, brick production process is analyzed in detail, beginning from the process of supply and raw materials storage, to final process of product storage. Every single process is described in detail and analyzed, technical description and production technology, applied equipment and machinery, as well as technological parameters are shown.

The sixth chapter is a practical application of the DMAIC methodology in the brick production process. There are detailed examples of primary and raw production optimization, drying process optimization, with special emphasis on the continuous usage of waste energy. Since the burning process is crucial in terms of almost every criterion, the optimization process is shown in particular detail, measurements were analyzed, which resulted in specific improvement measures. Simulations of the existing and modified production process were made in order to confirm the validity of improvement measures. At the end of the chapter there is an overview of the proposed solution implementation.

## ❖ KLJUČNE RIJEČI

- ✓ Optimiziranje
- ✓ Six sigma
- ✓ DMAIC
- ✓ Reinženjering poslovnih procesa
- ✓ Proizvodnja opeke

## ❖ KEY WORDS

- ✓ Optimization
- ✓ Six sigma
- ✓ DMAIC
- ✓ BPR
- ✓ Brick production

**POPIS OZNAKA I KRATICA**

$X$  – trenutna vrijednost regulirane veličine (°C, Pa)

$X_G$  – gornja dopuštena regulirana vrijednost

$X_D$  – donja dopuštena regulirana vrijednost

$X_n$  – vrijednost ulaza procesa

$W$  – zadana veličina (°C, Pa)

$W_G$  – gornja dopuštena zadana vrijednost

$W_D$  – donja dopuštena zadana vrijednost

$Y$  – trenutna vrijednost izvršnog člana (% , Hz)

$Y_G$  – gornja vrijednost izvršnog člana

$Y_D$  – donja vrijednost izvršnog člana

$Y_m$  – vrijednost rezultata procesa

$\sigma$  – standardna devijacija

ANOVA – Analysis of variance

CTC – Critical to cost

CTQ – Critical to quality

CTS – Critical to schedule

EBIT – Earnings before interest and taxes

FMEA – Failure modes and effects analysis

DPMO – defects per million opportunities

DMAIC – Define, Measure, Analyze, Improve, Control

DMADV – Define, Measure, Analyze, Design, Validate

FIFO – First in, first out

KA2 – pogon 2 u Ilovcu (Karlovac)

KA3 – pogon 3 u Ilovcu (Karlovac)

LIFO – Last in, first out

MNF – milijun normalnih formata

NF – normalni format

PLC - Programmable Logic Controller

PPI - Pareto Priority Indeks

ROI – Return on investment

RPN – Risk priority number

SPC – Statistical process control

VSM – Value stream mapping

TQM - Total Quality Management

**POPIS SLIKA**

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1. Demingov krug [20].....                                                           | 5  |
| Slika 2. Statistička definicija Six sigme [20] .....                                       | 7  |
| Slika 3. Područje vrijednosti za kupca .....                                               | 9  |
| Slika 4. Koraci metode DMAIC-a .....                                                       | 13 |
| Slika 5. Koraci metode DMADV-a.....                                                        | 14 |
| Slika 6. Crna kutija procesa .....                                                         | 23 |
| Slika 7. Podjela troškova prema stupnju iskorištenja kapaciteta.....                       | 26 |
| Slika 8. Dijagram srodnosti .....                                                          | 31 |
| Slika 9. Dijagram uzroka i posljedica .....                                                | 32 |
| Slika 10. Dijagram toka procesa oblikovanja .....                                          | 34 |
| Slika 11. Kontrolne karte procesa oblikovanja [18] .....                                   | 35 |
| Slika 12. Struktura proizvodnih troškova [17].....                                         | 36 |
| Slika 13. Mapa procesa proizvodnje opekarskih proizvoda .....                              | 37 |
| Slika 14. Rangiranje faktora FMEA analize .....                                            | 38 |
| Slika 15. Simboli modeliranja procesa u SigmaFlow .....                                    | 41 |
| Slika 16. Svojstva objekata u SigmaFlow [20] .....                                         | 42 |
| Slika 17. Sat simulacije u SigmaFlow [20] .....                                            | 43 |
| Slika 18. Simulacija procesa proizvodnje opekarskih proizvoda programom<br>SigmaFlow ..... | 44 |

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Slika 19. Dijamant poslovnog sustava [7] .....                                    | 47  |
| Slika 20. Prikaz značajki procesa .....                                           | 51  |
| Slika 21. Konsolidirana metoda reinženjeringa [13].....                           | 56  |
| Slika 22. Dijagram toka postojećeg procesa nabave .....                           | 61  |
| Slika 23. Dijagram toka budućeg procesa nabave.....                               | 62  |
| Slika 24. Prikaz procesa proizvodnje opekarskih proizvoda .....                   | 64  |
| Slika 25. Deponija gline ili halda .....                                          | 67  |
| Slika 26. Tlocrt primarne prerade .....                                           | 71  |
| Slika 27. Tlocrt komorno-protočne sušare [17] .....                               | 74  |
| Slika 28. Tlocrt razvoda zraka tunelske sušare [18] .....                         | 76  |
| Slika 29. Tijek temperature i vlage u procesu sušenja.....                        | 77  |
| Slika 30. Unutrašnjost tunelske peći.....                                         | 85  |
| Slika 31. Karakteristični presjek bočnog zida tunelske peći [15].....             | 86  |
| Slika 32. Temperaturne zone tunelske peći s usporednim dijagramom tlaka [15] .... | 87  |
| Slika 33. Struktura troškova proizvodnje [18].....                                | 98  |
| Slika 34. Struktura zastoja po linijama .....                                     | 98  |
| Slika 35. Struktura zastoja po vrstama kvara.....                                 | 99  |
| Slika 36. Kompletan alat za ekstrudiranje opekarskih proizvoda .....              | 102 |
| Slika 37. Potrošni dijelova alata: segmentni okvir i jezgre [16] .....            | 103 |
| Slika 38. Usporedba troškova alata i dodatnog materijala .....                    | 103 |



|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Slika 39. Glava preše .....                                          | 105 |
| Slika 40. Panel upravljanja sušarom KA2 .....                        | 107 |
| Slika 41. Parametri ispusta toplog zraka KA2 .....                   | 108 |
| Slika 42. Parametri ispusta vrućeg zraka KA2 .....                   | 109 |
| Slika 43. Mjesta zahvata optimiranja procesa sušenja i pečenja ..... | 111 |
| Slika 44. Tlocrt sušare KA3 .....                                    | 113 |
| Slika 45. Kalkulator promjene formata .....                          | 114 |
| Slika 46. Snimač podataka Squirrel 1000 .....                        | 117 |
| Slika 47. Zaštitno kućište Bacher&Schmidt .....                      | 118 |
| Slika 48. Sonda temperature NiCr-Ni .....                            | 118 |
| Slika 49. Grant-filewise softver .....                               | 119 |
| Slika 50. Raspored instaliranih sonde temperature .....              | 123 |
| Slika 51. Dijagram A: Materijal .....                                | 126 |
| Slika 52. Dijagram B: Materijal min-max .....                        | 129 |
| Slika 53. Dijagram C: Materijal gore .....                           | 130 |
| Slika 54. Dijagram D: Materijal sredina .....                        | 132 |
| Slika 55. Dijagram E: Materijal dolje .....                          | 133 |
| Slika 56. Dijagram F: Dimni plinovi .....                            | 134 |
| Slika 57. Dijagram G: Dimni plinovi min-max .....                    | 136 |
| Slika 58. Izvještaj procesa simulacije .....                         | 139 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| Slika 59. Preinake plinske instalacije.....                   | 144 |
| Slika 60. Demontaža bočnih HG plamenika .....                 | 145 |
| Slika 61. Provjera stanja plamenika.....                      | 145 |
| Slika 62. Presjek peći u zoni bočnih plamenika .....          | 146 |
| Slika 63. Izbušeni bočni zid peći za prihvrat plamenika ..... | 146 |

**POPIS TABLICA**

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablica 1. FMEA analiza procesa oblikovanja opekarskih proizvoda .....                      | 40  |
| Tablica 2. SWOT analiza Wienerberger Ilovac .....                                           | 97  |
| Tablica 3. Mjerenje ispusta toplog zraka KA2.....                                           | 108 |
| Tablica 4. Mjerenje ispusta vrućeg zraka KA2.....                                           | 108 |
| Tablica 5. Raspored sonde temperature na mjernom vagonu .....                               | 121 |
| Tablica 6. Oznake struja dimnih plinova i zraka.....                                        | 125 |
| Tablica 7. Normativi referentnog formata PTH 25 S .....                                     | 138 |
| Tablica 8. Usporedba podataka simulacije postojećeg i poboljšanog proizvodnog procesa ..... | 142 |

## 1. UVOD

Optimiranje u inženjerskom smislu znači pronalaženje maksimuma ili minimuma zadanog cilja ili ciljeva, unutar domene koje iscrtavaju određena ograničenja. Ograničenja u naravi mogu biti različita: raspoloživi resursi, zadana razina kakvoće, nemogućnost investiranja i sl.

Optimiranje nije vezano samo uz inženjersku praksu, pa se može reći da ljudi i u svakodnevnom životu neprestano optimiraju, iako nisu uvijek svjesni toga. Pronalaženje pravog načina raspodjele i plana trošenja osobnog dohotka, dobar (gotovo školski), je i usto veoma složen primjer optimiranja. Nadalje, obavljanje „različitih poslova u gradu“ slijedeći je primjer svakodnevnog optimiranja. Redoslijed obavljanja poslova u pravilu se određuje na temelju nekog kriterija (minimalno ukupno vrijeme, najkraći prijedeni put, najmanji trošak i sl.).

Za razliku od općeg optimiranja, proces inženjerskog optimiranja zahtijeva sustavno traženje optimalnog rješenja inženjerskog problema, i to u skladu s zadanim kriterijima optimalnosti (funkcijom cilja) i unutar dopuštenog područja rješenja koje određuju različita ograničenja.

Prva metoda optimiranja pojavila se tridesetih godina prošlog stoljeća pod imenom linearno programiranje. Ono je kvantitativna znanstvena metoda kojom se od većeg broja mogućih rješenja odabire ono koje je optimalno sa stajališta definiranog kriterija optimalnosti. Osnovne značajke linearnog programiranja su: linearnost veza među varijablama, definiranost cilja, postojanje više mogućih rješenja, kao i ograničenja.

Tijekom vremena problemi optimiranja su postajali sve složeniji, tako da su se razvijale i usavršavale metode optimiranja, kao što je nelinearno programiranje. Ono se bavi optimiranjem nelinearnih (ili linearnih) funkcija s linearnim ili nelinearnim ograničenjima. Nelinearno programiranje može se podijeliti na metode pretraživanja (bez uporabe derivacije) i metode koje se koriste derivacijama [2].

Uz spomenute matematičke metode, postoji cijeli niz različitih metoda poboljšanja procesa kojima se može uspješno optimirati procesi proizvodnje. Neke od njih su: Six sigma, Reinženjering poslovnih procesa, Vitki menadžment, Kaizen, Benchmarking,

Potpuno upravljanje kvalitetom i dr. U radu su prikazane i primijenjene dvije metode poboljšanja procesa: Six sigma i Reinženjering poslovnih procesa.

## 1.1 Opis problema i ciljevi optimiranja

Proces proizvodnje opekarskih proizvoda kontinuirani je proces kojeg određuje visoka razina proizvodnje, visoki troškovi, kontinuiranost proizvodnje 24 sata dnevno i 365 dana godišnje i konačno, visoki troškovi energije. Troškovi energije (primarno toplinske energije, sekundarno električne energije) izrazito su visoki, i mogu dosegnuti do 60% ukupnih proizvodnih troškova.

Budući da većina procesa optimiranja proizvodnje imaju za cilj reduciranje troškova proizvodnje, razvidno je da će procesi optimiranja u segmentu opekarske industrije ići u smjeru smanjenja jediničnog troška toplinske i električne energije, pa time i ukupnih proizvodnih troškova. Smanjivanjem troškova proizvodnje, tvrtki, dakako, raste konkurentska prednost.

Veoma važna aktivnost u procesu reduciranja troškova proizvodnje jest: identificiranje mjesta gdje dolazi do neopravdanog trošenja energije, odnosno rasipanja energije. Iako sama tehnologija često određuje ispuštanje energije (ispusti, dimnjaci i sl.), ipak je važno pokušati iskoristiti barem dio te energije, i time podići efikasnost proizvodnog procesa. Eliminacija gubitaka ili rasipanja ne smije biti ograničena samo na energiju, već se treba primjenjivati na sve postojeće resurse.

Nadalje, procesi optimiranja često imaju za cilj i zadržavanje ili podizanje razine kvalitete gotovih proizvoda. Imajući u vidu da su zahtjevi kakvoće najčešće u suprotnosti sa zahtjevima koji su usmjereni na racionalizaciju proizvodnje odnosno smanjenje troškova proizvodnje, važno je ispravno ocijeniti utjecaj planiranih zahvata mjera i zahvata u pogledu kakvoće gotovog proizvoda. Može se, stoga, reći da kvaliteta, posebice za tvrtke kojima je ona jaka konkurentska prednost, predstavlja okvir u kojemu se trebaju odvijati sve aktivnosti optimiranja.

Metode optimiranja nisu ograničene samo na promjenu tehnoloških parametara, racionalizaciju korištenja energije, povećanje volumena proizvodnje i sl., već se mogu

usredotočiti i na povećanje tehnološke discipline, efikasniju podjelu posla, jasnije i detaljnije procedure itd.

U industriji opekarskih proizvoda i općenito građevinskog materijala, može se primijeniti metoda Six sigma zbog toga što se metodom kontinuirano poboljšavaju procesi, na temelju mjerenja ključnih parametara i detaljne analize. U velikoserijskoj proizvodnji sa izraženim procesnim karakterom, poput proizvodnje opekarskih proizvoda, drži se do stabilnosti, osjetljivog i jednim dijelom potencijalno opasnog procesa, te se unapređenja vrše metodom malih koraka. Metoda Six sigma je pogodna i zbog činjenice da je usmjerena na kvalitetu, reducira varijabilnost procesa i ima cilj zadovoljenja zahtjeva i želja kupaca. Uz odabranu metodu Six sigme, posebice je zanimljivo prikazati i metodu Reinženjeringa poslovnih procesa, koja je u mnogim svojim postavkama suprotnost načinu razmišljanja kojeg promiče Six sigma i filozofija kontinuiranog unapređenja.

## 2. SIX SIGMA

Six sigma metodologija je definirana u više dimenzija. Primarno je poslovna filozofija koja se fokusira na kontinuirano poboljšavanje tako da zadovoljava zahtjeve kupaca, zatim analizira poslovne procese i pokreće metode mjerenja u cilju reduciranja varijacija procesa. Razlikuje se od ostalih metoda za povećanje produktivnosti u tome što je usmjerena na kvalitetu koju određuje kupac, te smanjenje defekata i varijacija proizvoda, kao i na rigorozne statističke metode.

### 2.1 Povijest Six sigme

Iako se rad američkog profesora i statističara W. Edwards Deming-a izravno ne povezuje sa nastankom Six sigma, njegov rad i filozofija je kamen temeljac nastanka Six sigme i, još u većoj mjeri, TQM-a (eng. Total quality management – hrv. Cjelovito upravljanje kvalitetom). W. Edwards Deming je 50-tih godina prošlog stoljeća boravio u Japanu kako bi pomogao u izradi popisa stanovništva nakon Drugog svjetskog rata. Boraveći u Japanu, držao je brojne seminare iz statistike i uporabe statističkih metoda u industriji u cilju povećanja kvalitete. Njegova filozofija je bila prilično jasna: povećanje kvalitete dovesti će do smanjenja troškova, porasta produktivnosti i tržišnog udjela. Takva filozofija je bila naširoko prihvaćena u japanskoj industriji, te je uz evoluirani oblik takve filozofije TQM, zaslužna za snažan rast japanske industrijske proizvodnje nakon Drugog svjetskog rata [5], [8].

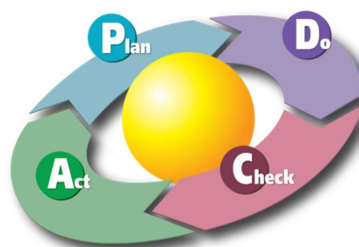
W. Edwards Deming je nakon povratka u SAD napisao rad „Out of crisis“ (hrv. Izvan krize) u kojem je sumirao svoju filozofiju u 14 zahtjeva:

1. usvoji stalne ciljeve
2. prihvati novu filozofiju
3. ne oslanjaj se na inspekciju
4. primjeni princip kvalitete pri odabiru dobavljača
5. unapređuj se konstantno i neprekidno
6. provodi obrazovanje svih zaposlenika na poslu
7. institucionaliziraj rukovođenje

8. eliminiraj osjećaje straha
9. sruši barijere između organizacijskih jedinica
10. ukinu nejasne slogane
11. ukinu numeričke ciljeve
12. sruši prepreke koje ljude sprečavaju da se ponose svojim radom
13. stimuliraj zaposlenike na kontinuirano obrazovanje
14. provodi akcije za provođenje promjena.

Ime W. Edwards Deming-a je ostalo prepoznatljivo po četvero-stupanjskoj cikličkoj metodi sustavne kontrole i kontinuiranog poboljšanja procesa i proizvoda – PDCA ili Demingov krug. Ciklus, prikazan Slika 1., čija je bitna odrednica da se beskonačno ponavlja, sastoji se od četiri aktivnosti:

- plan (hrv. planirati),
- do (hrv. učiniti),
- check (hrv. provjeriti),
- act (hrv. djelovati).



**Slika 1. Demingov krug [20]**

Prvi počeci metodologije Six sigma vežu se uz američku tvrtku Motorola, čiji su se inženjeri, na temelju koncepcije W. Edwards Deming-a, počeli baviti analizom varijacija u cilju poboljšanja procesa. Vidjevši velike mogućnosti primjene, menadžeri Motorole su implementirali analizu varijacije u sve poslovne procese. Odluka o primjeni analize varijacija u svim poslovnim procesima pokazala se veoma važnom, međutim, ključna je bila opredijeljenost za konstantno i neprekidno unapređenje procesa u cilju smanjenja varijacija.

Nakon objave rezultata postignutih uporabom Six sigme u tvrtki Motorola, te nakon toga i tvrtke Texas Instruments, Jack Welch, glavni izvršni direktor General Electric, odlučio je implementirati metodologiju Six sigma u sve poslovne procese svih sektora tog američkog poslovnog diva. Implementacija je polučila odlične rezultate, te je nakon toga ta metodologija postala priznata i prihvaćena širom svijeta [5], [8].



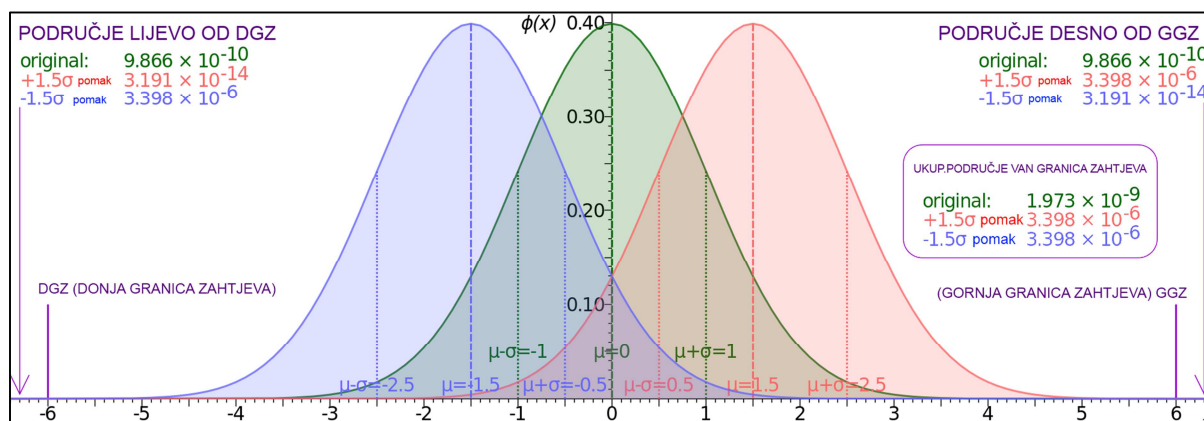
## 2.2 Statističko značenje Six sigme

Proučavanjem prirodnih pojava, tehničkih sustava otkriveno je da se mnoštvo sustava ponaša po zakonu normalne (Gaussove) distribucije, koju odlikuje disperzija rezultata oko središnje tendencije (očekivanje, aritmetička sredina) s lijeve i desne strane simetrično, na način da krivulja siječe apscisu u  $\pm\infty$ . Krivulja je određena s dva parametra,  $\mu$  - središnja tendencija (očekivanje) i  $\sigma$  – standardna devijacija. Središnja tendencija pokazuje vrijednosti u čijoj neposrednoj blizini će se grupirati najveći broj podataka (najveća funkcija gustoće). Standardna devijacija je mjera disperzije podataka oko središnje tendencije, tako da manja standardna devijacija znači manje rasipanje podataka, i obrnuto.

Najraširenija statistička definicija Six sigme je uspješnost procesa od 99,99966%. Navedena razina uspješnosti se češće prikazuje kao 3,4 DPMO (eng. Defects per million opportunities; hrv. nesukladnosti na milijuna slučajeva), tj. uspješnost pojavljivanja 3,4 nesukladnosti (grešaka; veličina van granica zahtjeva) na jedan milijun slučajeva. Nesukladnost definiramo kao odstupanje bilo koje veličine od određenih granica zahtjeva (npr. greška na proizvodu, vrijeme obrade, vrijeme isporuke i sl.).

Smještajući granice zahtjeva procesa na  $\pm 6\sigma$  (zelena krivulja) prikazane Slika 2. otkriti će se da nesukladnost od 0,001973 DPMO (obje granice zahtjeva) ne odgovara definiciji Six sigme od 3,4 DPMO, te bi je bilo gotovo nemoguće trajno zadržavati na tako visokoj razini. Razlog ovom odstupanju su iskustva tvrtke Motorola (prvenstveno inženjera Bill Smitha) prilikom dugotrajnog praćenja proces. Naime, mjerenja procesa u dugom vremenskom razdoblju pokazala su da se sredine procesa pomiču za najviše  $1,5\sigma$  (plava i crvena krivulja). Iako je logično pretpostaviti da će u tehničkom sustavu u dugom vremenskom razdoblju, uz pomicanje sredine rezultata procesa, doći i do povećanja disperzije rezultata (povećanje varijabilnosti procesa), što nije uvršteno u metodologije Six sigme jer bi došlo do dvije različite razine  $\sigma$ . Stoga, metodologija je prihvatila pomak sredine procesa za iznos  $1,5\sigma$  u cilju amortizacije smanjenja sposobnosti procesa u dugom vremenskom razdoblju. Navedeni pomak dovodi do početne definicije Six sigme: za  $6\sigma$  razinu procesa, u

dugom vremenskom razdoblju, udaljenost sredine procesa do najbliže granice zahtjeva iznosi  $4,5\sigma$ , što uzrokuje 3,4 DPMO.



**Slika 2. Statistička definicija Six sigma [20]**

Statistička definicija Six sigma djeluje na prvi pogled pomalo zastrašujuće, sa zahtjevima koji graniče sa savršenim sustavom u kojemu skoro da nema grešaka. Međutim, to jednostavno nije tako. Bit Six sigma je smanjiti varijabilnost proizvoda ili usluga, na razinu koja jamči zadovoljstvo kupaca i u okvirima u kojima postoji ekonomska isplativost [8], [9].

## 2.3 Ciljevi Six sigma

Osnovni cilj primjene metodologije Six sigma je optimiranje procesa, u cilju zadovoljenja zahtjeva i želja kupaca, na način da se reducira varijabilnost procesa do  $6\sigma$  razine, ili do razine od 3,4 DPMO. Razina procesa od  $6\sigma$  predstavlja visoku razinu efikasnosti procesa, koju velika većina tvrtki teško može postići u svim svojim procesima ili ne postoje zahtjevi za tako visoku razinu procesa. Osim toga, postavlja se i pitanje je li ekonomski isplativo postići takvu razinu efikasnosti u svim procesima koji postoje u tvrtki.

Bitno je reći da  $\sigma$  razina uzima u obzir samo jedan činitelj efikasnosti procesa. Stoga, u pravilu, tvrtke ostvaruju različite  $\sigma$  razine u različitim procesima unutar iste tvrtke. Ovo se može ilustrirati različitim  $\sigma$  razinama pojedinih procesa zrakoplovnih kompanija [P. A. Keller, T. Pyzdek: Six Sigma Demystified, The McGraw-Hill Companies, 2005.]. Podaci pokazuju da zrakoplovne kompanije u procesu rukovanja prtljagom postižu  $3\sigma$  razinu, u procesu točnosti polijetanja i slijetanja aviona  $4\sigma$

razinu, dok se proces sigurnosti (zrakoplovnih nesreća) nalazi u području iznad  $6\sigma$  razine. Dakle, zrakoplovne kompanije su očito akceptirale različite razine zahtjeva kupaca u pojedinim procesima unutar iste tvrtke. S druge strane, postoje i tvrtke koje uspješno posluju sa procesima na  $2\sigma$  razini. Međutim, te tvrtke ne posluju na slobodnim i razvijenim tržištima, već se radi o tvrtkama u monopolnom položaju ili vladinim agencijama.

Vrlo je važno izvršiti diferenciranje željenih  $\sigma$  razina ovisno o vrsti procesa. Iako je do sada  $6\sigma$  razina smatrana kao ideal kojemu treba težiti, postoje tvrtke koje su u pojedinim procesima dostigli tu razinu, te su smatrale da letvicu uspješnosti treba dići više. Tipičan primjer takvog procesa je prije spominjana sigurnost zrakoplovnog prometa. Imajući u vidu podatak da je u Europi 2010. godine izvedeno 9,49 milijuna zrakoplovnih letova (EUROCONTROL Medium-Term Forecast: IFR Flight Movements 2011-2017), postavlja se pitanje je li razina od 3,4 DPMO (zrakoplovnih nesreća) dovoljna. Očito nije, budući da pojedine zrakoplovne kompanije posluju u procesu sigurnosti iznad  $6\sigma$  razine.

Cilj optimiranja procesa u smjeru smanjenja varijabilnosti procesa nije jedini cilj koji se stavlja pred metodologiju Six sigme. Smanjenje varijabilnosti procesa rezultirati će i jasnim ekonomskim rezultatima kao što je smanjenje troškova, poboljšanje produktivnosti i rastom udjela na tržištu. Smanjenje troškova u proizvodnoj djelatnosti može se ilustrirati sa smanjenjem troškova prerade, gubitaka na materijalu, prekovremenih sati, povrata i reklamacija, oportunitetnih troškova [8], [10], [11] itd.

## 2.4 Šest okvira Six sigme

U cilju upoznavanja Six sigme, počesto se pokušava prikazati šire određenje Six sigme, koja nije ograničena samo statističkim pokazateljima uspješnosti procesa, uporabom specifičnih alata, već temama koje obrađuju novi način razmišljanja, novi način donošenja odluka i sl. Zbog toga, Six sigma se uobičajeno prikazuje kroz šest karakterističnih tema (okvira, fokusa) koji dodatno proširuje razumijevanje Six sigme [11].

**Istinski fokus na kupca.** Navedeni termin nalazi se u velikom broju poslovnih filozofija i metodologija, među ostalim, i u spomenutom TQM-u. Prvi korak je

otkrivanje koji su zahtjevi i želje kupaca (Slika 3.), imajući u vidu dinamiku procesa, tj. činjenicu da se zahtjevi i želje kupaca tijekom vremena mijenjaju (posebice izraženo u informatičkoj industriji i industriji mobilnih telefona). Nerazumijevanje zahtjeva i želja kupaca neumoljivo vodi kraju uspješnog poslovanja, što se može ilustrirati primjerom snažnog pada tržišnog udjela proizvođača mobilnih telefona Nokia, uslijed ignoriranja zahtjeva kupaca za mobitelima s ekranima osjetljivim na dodir.



**Slika 3. Područje vrijednosti za kupca**

S druge strane, moguće je primijetiti fenomen velikih svjetskih tvrtki koje ne žele pasivno otkrivati zahtjeve i želje kupaca, već svojom marketinškom kampanjom oblikuju i mijenjaju zahtjeve i želje kupaca.

Zahtjevi i želje kupaca nisu ograničeni samo na karakteristike finalnog proizvoda, već se odnose i na proces kupnje, vrijeme dostave, korisničku podršku, servis itd. Sve te zahtjeve nužno je ugraditi u specifikacije proizvoda, kao i u sve poslovne procese.

**Menadžment upravlja na temelju podataka.** Bez obzira na snažan razvoj informatičke industrije u recentnim desetljećima, kao i razvoj metoda mjerenja i analiza, baza znanja i simulacija, još uvijek se dio poslovnih odluka djelomično ili u potpunosti bazira na mišljenjima, osjećajima i pretpostavkama. Six sigma disciplinira proces donošenja odluka tako da se kontinuirano propituje koji podaci su potrebni za donošenje odluka i kako upotrijebiti te podatke u cilju maksimiziranja učinka. Primjer upravljanja na temelju podataka je npr. uporaba PPI (eng. Pareto priority indeks; hrv. Pareto indeks prioriteta) na temelju kojeg se vrši vrednovanje i selekcija pojedinih projekata (uz poznate rezultate cost-benefit (hrv. trošak-korist) analize; izraz **1.0**).

$$PPI = \frac{\text{Ušteda} * \text{Vjerojatnost uspješne implementacije}}{\text{Trošak} * \text{Vrijeme implementacije}} \quad (1.0)$$

**Fokus na procese i poboljšanja.** Six sigma stavlja proces u prvi plan, bez obzira radilo se o oblikovanju proizvoda ili usluga, mjerenju učinaka, povećanju efikasnosti ili zadovoljstva kupaca. Ovladavanje procesima u tvrtki ne smije se percipirati kao nešto što se mora obaviti jer to metodologija zahtjeva, već kao prilika koja može rezultirati drastičnim povećanjem konkurentske prednosti i svim pozitivnim ekonomskim učincima koji proizlaze iz toga.

**Proaktivni menadžment.** Menadžment mora biti aktivan prije nego što se nešto dogodi, tj. da svojim odlukama i aktivnostima determinira buduće događaje, umjesto da reagira na pojave koje su se već zbile. Da bi to bilo moguće, menadžment mora definirati ambiciozne planove, te ih neprestano kontrolirati i nadzirati, pitajući se zašto se nešto obavlja na određen način i je li je bolje to obavljati na drugi način. Za to je potrebna poprilična doza kreativnosti, ali i „poslovne drskosti“ da dovodi u pitanje nešto postojeće i uhodano.

**Bezgranična suradnja.** Six sigma širi mogućnosti suradnje među zaposlenicima, odjelima, tako da prikazuje „veliku sliku“ koje zaposlenici ili odjeli često nisu ni svjesni, svakodnevno baveći se pojedinim partikularnim problemima. Međutim, upoznavanjem sa cjelokupnom slikom, pojedinci i odjeli postaju svjesni svoje važnosti za uspješno odvijanje cjelokupnog procesa, te se upoznaju sa važnošću i problemima drugih zaposlenika i odjela. Time zaposlenici i odjeli postaju senzibilniji prema potrebama drugih, povećavajući vlastitu razinu odgovornosti za cjelokupni proces, a ne samo za svoj segment.

**Želja za savršenstvom; Tolerancija neuspjeha.** Iako definirani zahtjevi na prvi pogled izgledaju kontradiktorno, oni su doista komplementarni. Implementacija Six sigme podrazumijeva nove ideje i pristupe, dakle, inovativnost. Inovativnost, bez obzira koliko bila genijalna ideja, nosi određeni stupanj rizika. Netoleriranje neuspjeha direktno će ugušiti inovaciju, kreativnost, obeshrabriti će zaposlenike u pokušaju osmišljavanja novih ideja i odvesti procese u smjeru sigurnih i utabanih puteva, što je u suprotnosti sa suštinom Six sigme.

## 2.5 Uloge u Six sigmi

U mnogim tvrtkama smatraju da su zaposlenici najvredniji dio tvrtke, što je u potpunom suglasju sa filozofijom Six sigme. Six sigma polazi od stajališta da su zaposlenici ključna spona prema kupcima, odgovorna za ispunjenja zahtjeva i želja kupaca, te za lojalnost kupaca.

Ustrojavanje organizacije tima Six sigme, podjela uloga i odgovornosti je od velike važnosti u procesu Six sigme. Iako razni autori različito definiraju nazive, odgovornosti i djelokrug aktivnosti pojedinih aktera, slijedeće pozicije (uloge) može se prepoznati u gotovo svakom Six sigma timu [11], [12]:

**Izvršni voditelj.** Izvršni voditelj je pokretačka snaga prihvatanja i implementiranja Six sigma metodologije. On također, preuzima odgovornost za odvijanje projekta i dostizanje rezultata Six sigma projekta. Uobičajeno je da je ta osoba na poziciji gornjeg menadžmenta, obično na razini direktora. Odgovornosti i zadaće te pozicije su slijedeće: pregledava i pojašnjava ciljeve projekta sa sponzorom, dopunjuje i ažurira plan projekta i plan implementacije, sudjeluje u odabiru članova tima, traži potrebne resurse i informacije, definira uporabu pojedinih Six sigma alata, osigurava provođenje projekta sukladno terminskim planovima, dokumentira konačne rezultate projekta.

**Sponzor ili šampion.** Sponzor ili šampion je osoba iz razine visokog menadžmenta, velikog ugleda i utjecaja, koja nadzire odvijanje projekta, osiguravajući pritom timu slobodu da donose vlastite odluke, dok s druge strane osigurava smjer odvijanja projekta. Dužnosti sponzora uključuje slijedeće aktivnosti: osigurava odvijanje projekata prema ispunjenju glavnih ciljeva, odobrava promjenu u djelokrugu i smjeru odvijanja projekta, osigurava resurse za odvijanje projekta.

**Majstor crnog pojasa.** Majstor crnog pojasa je osoba koja je vrhunski stručnjak iz područja Six sigma koncepcije i alata, te obučava osobe crnog pojasa za ispravnu uporabu metodologije i alata Six sigme. Također, majstor crnog pojasa je često mentor ili konzultant osobama crnog pojasa koji upravljaju vlastitim projektima, ili radi na projektima visokog ranga.

**Crni pojas.** Crni pojas je osoba koja je stručnjak iz područja Six sigma metodologije i alata, odgovoran za vođenje, izvršavanje i dovršetak procesa DMAIC, podučava članove tima metodologiji i alatima Six sigme, izvještava šampione i vlasnike procesa o napretku projekta, prenosi znanje na druge osobe crnog pojasa, mentor je osobama zelenog pojasa.

**Zeleni pojas.** Zeleni pojas je osoba koja je educirana iz područja Six sigma metodologije i alata, te se bavi projektima manjeg ranga i opsega u tvrtkama u kojima rade. U pravilu su važni članovi projektnog tima pod vodstvom crnog pojasa.

**Vlasnik procesa.** Vlasnik procesa je član tima koji ima odgovornost da osigura ispravno odvijanje procesa i neprekidni proces poboljšavanja istog. Preuzima proces nakon završetka projekta i osigurava održivost rezultata projekta tokom vremena.

### 3. METODE PROVOĐENJA SIX SIGMA PROJEKATA

Svaki Six sigma projekt prati standardizirana metoda kojoj je cilj povećanje efikasnosti procesa kako bi to u konačnici rezultiralo zadovoljenjem zahtjeva i želja kupaca. Ovisno o tome postoji li proces, ili ga je potrebno kreirati, razlikujemo dvije metode provođenja Six sigma projekta.

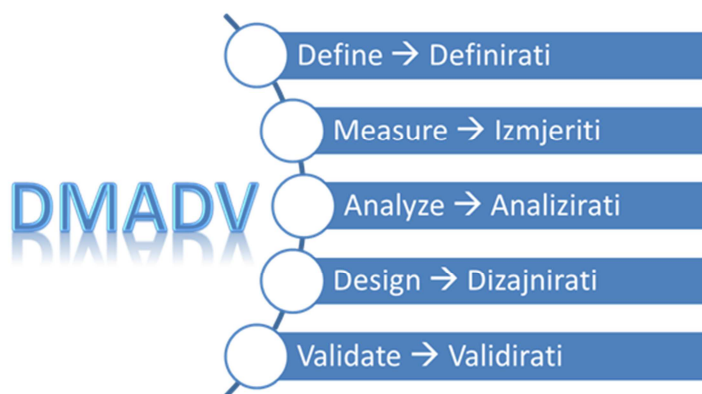
**DMAIC.** DMAIC koristi grupu Six sigma procesa za poboljšavanje kako bi unaprijedio postojeći proces. Ova strukturirana metoda u pet stupnjeva, prikazana Slika 4., daje mogućnost jasnog definiranja željene razine poboljšanja, mjeri postojeću efikasnost procesa, upućuje na uzrok odstupanja procesa od idealnog stanja, eliminira uzroke odstupanja i uvodi kontrolu procesa u cilju održavanja poboljšanog procesa.



**Slika 4. Koraci metode DMAIC-a**

**DMADV.** DMADV, prikazan Slika 5., koristi grupu Six sigma procesa za kreiranje novih procesa koji ne postoje u tvrtki, ili za kreiranje novih procesa iz razloga jer stari nisu bili optimirani putem DMAIC-a, te ih je potrebno iz početka kreirati.





**Slika 5. Koraci metode DMADV-a**

### 3.1 Definiranje DMAIC projekta (D)

Osnovni ciljevi prvog koraka DMAIC-a mogu se sažeti u nekoliko slijedećih točaka [8], [10], [11]:

- definirati zahtjeve kupaca i njegova očekivanja,
- odabrati članove tima i sponzora,
- postaviti jasne granice procesa,
- definirati misiju projekta, prostor djelovanja, ciljeve i vremenski okvir,
- dobiti sve osnovne informacije o procesu,
- definirati standard efikasnosti procesa,
- identificirati ključne karakteristike elemenata za kvalitetu.

Definiranje projekta je veoma važan korak DMAIC-a jer definira sve aspekte projekta, stoga, svi koraci koje slijede u metodi DMAIC-a proizlaze iz definiranja projekta. U ovom koraku menadžment je posebice involviran, puno više nego u svim ostalim koracima zajedno, jer menadžment mora osigurati da su ciljevi projekta u suglasju sa strateškim planovima poduzeća. Također, iz definiranja projekta proizlaze i troškovi koji moraju biti odobreni od strane menadžmenta.

Povelja projekta je široko prihvaćeno sredstvo za upravljanje i kontrolu Six sigma projekata. Ona služi kao ugovor između sponzora projekta i projektnog tima. Za razliku od pravnog ugovora, povelja projekta može se dopunjavati tijekom vremena, u slučaju dolaženja do novih podataka i informacija u procesu DMAIC-a. Povelja se uobičajeno sastoji od slijedećih elemenata:

- Naziv projekta, datum, verzija povelje.
- Svrha projekta. Svrha projekta je kratka izjava koja objašnjava svrhu izvođenja projekta. Obično sadržava ključne tehničke i financijske parametre kojima projekt treba rezultirati kao što su: ROI (eng. Return on investment; hrv. Povrat investicije), vrijeme poslovnog ciklusa, DPMO (eng. Defects per million opportunities; hrv. Nesukladnosti na milijuna slučajeva).
- Izjava o problemu. Izjava daje sažeti prikaz problema koji trebaju biti riješeni projektom. Konstatira se sadašnje stanje, kao i prikaz stanja kroz prošlost, te se kvantificira šteta (materijalno – DPMO, novčano) uzrokovana ne rješavanjem problema.
- Izjava o cilju. Izjava o cilju sadržava specifične ciljeve koji se žele ostvariti (npr. skraćanje vremena izrade od 10%, reduciranje škartu za 10 puta).
- Okvir (djelokrug). Djelokrug projekta je u izravnoj vezi s izjavom o cilju, pa treba izbjegavati preambiciozne ciljeve koji će rezultirati preširokim djelokrugom projekta, te time i dugim vremenskom rokom za njegov završetak. Iskustvo je pokazalo da djelokrug projekta treba biti tako odabran da ga je moguće završiti projekt u roku od 3 -4 mjeseca.
- Popis uloga. Navode se imena stručnjaka koji će biti uključeni u projekt, te su razvrstani u četiri skupine:
  - nositelji interesa – odjeli unutar tvrtke, kupci, prodavači, svi oni kojima će se poslovno aktivnosti promijeniti zbog projektnih aktivnosti ili zbog rezultata projekta,

- sponzori – članovi srednjeg ili gornjem menadžmenta koji podupiru projekt, na način da financiraju projekt, dodjeljuju resurse, prate odvijanje projekta,
  - osoba crnog pojasa - stručnjak iz područja Six sigma metodologije i alata, odgovoran za vođenje, izvršavanje i dovršetak procesa DMAIC-a,
  - članovi tima – stručnjaci iz različitih područja, najčešće statusa zelenog pojasa.
- Resursi i potrebe. Resursi i potrebe odnose se na potrebne procese, opremu, baze podataka, radnu snagu izvan projektnog tima (stručne usluge), dakle sve što je potrebno da se omogući provedbu projekta
- „Isporučevine“ (rezultati projekta). Uključuje sve mjerljive koristi koje donosi implementacija projekta. U osnovi, navedene mjerljive koristi predstavljaju kriterije za ocjenu uspješnosti projekta, kao što su:
- smanjenje troškova materijala
  - povećanje obujma prodaje zbog rasta proizvodnih kapaciteta
  - smanjenje troškova radne snage
  - smanjenje troškova održavanja
  - skraćanje vremena isporuke.
- Vremenski okvir. Uobičajeno sadrži datum prihvatanja povelje od strane sponzora, datum početka projekta i očekivani datum završetka projekta
- Vremenski plan projekta. Vremenski plan projekta obično je u formi gantograma, te jasno pokazuje vrijeme početka i završetka aktivnosti, kao i međuovisnosti pojedinih aktivnosti.

### 3.2 Mjerenje procesa DMAIC projekta (M)

Drugi korak metode DMAIC-a je mjerenje procesa. To nije samo mjerenje, u užem smislu te riječi, već i prikupljanje svih relevantnih podataka o procesu, u cilju dobivanje potpune i detaljne slike procesa. Ovaj korak uobičajeno se sastoji od četiri aktivnosti kako slijedi [8], [10], [11]:

- detaljno definiranje procesa, potpuno i detaljno razumijevanja procesa, funkcionalnosti unutar procesa,
- detaljna mjerenja procesa,
- procjena trenutnog stanja procesa,
- analiza procesa mjerenja u cilju kvantificiranja pogrešaka u mjerenju.

Faza definiranja procesa započinje s izradom detaljne mape procesa. Ona mora podrobno prikazivati sve aktivnosti koje su predmet poboljšavanja. Uobičajeno je da se započinje od generalne mape procesa, koja obično postoji u svakoj tvrtki, te koja prikazuje odvijanje procesa bez podrobnog prikaza aktivnosti unutar samog procesa. Imajući u vidu da se proces sastoji od zadataka i aktivnosti, koje se neprekidno svakodnevno ponavljaju određenim redoslijedom, u izradu detaljne mape procesa treba uključiti zaposlenike koji su sudionici u navedenom procesu. Uključivanje zaposlenika određenog procesa je u potpunosti opravdano jer obično postoje razlike u prikazu procesa u generalnoj mapi procesa (dijagram toka) kojeg su izradili stručnjaci definirajući proces prije početka rada, i stanja procesa koji egzistira u stvarnosti. Nadalje, raširena je praksa da zaposlenici tijekom vremena vrše manje modifikacije procesa u cilju rješavanja svakodnevnih problema, međutim, te promjene obično nisu upisane u dijagram toka procesa.

Detaljna mjerenja procesa u osnovi su mjerenja parametara procesa koja upućuju na stanje u kojem se nalazi određeni proces. Mjerenje po metodi DMAIC-a obično se fokusira na tri kritična faktora: trošak, kvalitetu i vremenski raspored. Bitno je definirati koji parametri procesa utječu na koji kritični faktor. Zbog toga, postoje CTC (eng. Critical to cost; hrv. Kritično za trošak) parametri, CTQ (eng. Critical to quality; hrv. Kritično za kvalitetu) i CTS (eng. Critical to schedule; hrv. Kritično za vremenski

raspored) parametri. Dakle, mjerenje procesa mora rezultirati funkcijskim ovisnostima rezultata procesa o vrijednostima inputa ili parametara procesa, što se može jednostavno prikazati matematičkim izrazom 1.1:

$$Y_m = f(X_n) \quad (1.1)$$

gdje je

$Y_1, Y_2, \dots, Y_m$  – vrijednost rezultata procesa (npr. vrijeme izrade, čvrstoća izratka i sl.)

$X_1, X_2, \dots, X_n$  – vrijednost ulaza procesa (npr. vlaga sirovine, temperatura pečenja i sl.)

Navedeni matematički izraz vrijedi za cjelokupni proces, međutim, procesi se, gotovo uvijek, moraju podijeliti u potprocese i analizirati. Dakle,  $X_n$  postaje raščlanjivanjem procesa novi  $Y_m$ , koji nadalje ovisi o novim inputima i parametrima potprocesa.

Procjena trenutnog stanja procesa treba odrediti razinu uspješnosti procesa koji egzistira u stvarnosti, tj. startnu poziciju s koje se kreće u proces poboljšavanja. Također, procjena mora dati odgovor na pitanje u kojoj mjeri proces može zadovoljiti zahtjeve kupaca. Procjena se vrši na temelju serija slučajnih uzoraka uzetih iz populacije (osnovnog skupa). Testiranjem statističkih hipoteza ocjenjuje se vjerodostojnost tvrdnji o populaciji na temelju uzetih slučajnih uzoraka. Dakle, ključno je da uzorci budu reprezentativni, tj. da dobro opisuju populaciju (osnovni skup). Nadalje, određuju se donje i gornje vrijednosti mjerenih veličina procesa uz odabir odgovarajućeg intervala povjerenja.

Proces, iako statistički definiran populacijom ili osnovnim skupom, razlikuje se od populacije jer se odvija tijekom vremena. Stoga, uzroci varijabilnosti procesa mogu se podijeliti u dvije skupine: stalne (uobičajene) i povremene (specijalne) uzroke. Stalni uzroci varijabilnosti su uobičajeni uzroci varijabilnosti karakteristični za određeni proces, te se kao takvi i očekuju i toleriraju u određenoj mjeri. Iako se ne mogu točno objasniti ti uzroci, varijabilnost procesa se može predvidjeti određenim statističkim alatima, te stoga, proces se može smatrati stabilnim. Povremeni uzroci varijabilnosti, s druge strane, sporadične su prirode, pojavljuju se i nestaju na nepredvidljiv način. Stoga, varijabilnost procesa je nemoguće predvidjeti, pa proces se može smatrati nestabilnim.

Praćenje, analiziranje i poboljšavanje procesa na način da se prati varijabilnost parametara koristi se u statističkoj kontroli procesa (eng. SPC – Statistical process control). Osnovni cilj uporabe statističke kontrole procesa (SPC) je povećanje udjela ispravnih rezultata procesa uz minimiziranje ulaznih resursa i gubitaka. Najpopularniji i najrašireniji alat SPC-a su kontrolne karte, koje se uspješno koriste još od 20-tih godina prošlog stoljeća. Cilj uporabe kontrolnih karata je praćenje, otkrivanje i vizualizacija poremećaja karakteristika promatranog procesa. Na temelju praćenja parametara procesa konstruira se dijagram koji na svojoj apscisi sadrži vrijeme odvijanja procesa, dok na ordinati obilježava vrijednosti središnje linije (aritmetička sredina aritmetičkih sredina uzoraka) i vrijednosti gornje i donje kontrolne granice. Ako je svaka točka središnje linije pozicionirana između gornje i donje kontrolne granice, može se zaključiti da je promatrani proces pod kontrolom, a u suprotnom, je van kontrole.

Mjerni sustav nije ograničen samo na objekt mjerenja i mjerni uređaj, već predstavlja cjelinu sa svim utjecajnim faktorima kao što su: ispitivač, metoda mjerenja, kompjuterski program, elektronika, naprave, okolina... Također, treba biti svjestan činjenice, budući da su mjerenja počesto temelj pojedinih odluka, da pogrešna mjerenja mogu rezultirati pogrešnim poslovnim odlukama i teškim posljedicama. Stoga, provođenjem analize mjernog sustava ili kvantificiranjem točnosti, preciznosti i stabilnosti potvrditi ispravnost određenog mjernog sustava. Stabilnost mjernog sustava je karakteristika mjernog sustava da reproducira isti rezultat kod opetovanog mjerenja istog uzorka. Ujedno, to znači da u procesu mjerenja ne postoje povremeni (specijalni), već samo stalni (uobičajeni) uzroci varijabilnosti. Točnost definiramo kao razliku između stvarne vrijednosti uzorka i srednje vrijednosti ponovljenih mjerenja istog uzorka. Ponovljivost je varijabilnost mjerenja zbog varijabilnosti uređaja za mjerenje. S druge strane, obnovljivost je varijabilnost mjerenja zbog varijabilnosti različitih operatera na istom mjernom uređaju.

### 3.3 Analiza procesa DMAIC projekta (A)

Treći korak u primjeni metode DMAIC-a je analiza. Ovaj korak uobičajeno se sastoji od tri aktivnosti, kako slijedi [8], [10], [11]:

- analize toka vrijednosti, s ciljem odbacivanja svega što ne predstavlja vrijednost za kupca,
- analize uzroka varijabilnosti,
- određivanja bitnih pokretača procesa.

Analiza toka vrijednosti vrlo je važan alat posuđen od Lean metodologije (hrv. vitak), poslovne filozofije kojoj je cilj eliminacija svega nepotrebnoga što ne stvara novu vrijednost za kupca, neprestano dižući fleksibilnosti i učinkovitost. Tok vrijednosti predstavlja kretanje proizvoda ili usluge kroz aktivnosti koje povećavaju vrijednost istih, na način da se proces promatra iz perspektive budućeg korisnika proizvoda ili usluge. Aktivnosti se mogu podijeliti u tri skupine:

1. aktivnosti koje dodaju vrijednost
2. aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali su neophodne za odvijanje aktivnosti koje dodaju vrijednosti (gubitak 1. vrste)
3. aktivnosti koje ne dodaju vrijednost i nisu neophodne (gubitak 2. vrste)

Nadalje, gubici se mogu podijeliti u 8 karakterističnih skupina:

1. prekomjerna proizvodnja
2. nepotreban transport materijala ili radnika
3. čekanje
4. prekomjerna obrada
5. nepotrebne zalihe
6. nepotrebni pokreti
7. škart
8. nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika

Za detektiranje, utvrđivanje i eliminiranje gubitaka u procesu proizvodnje često se koristi tehnika VSM (eng. Value stream mapping; hrv. Mapiranje toka vrijednosti). Mapiranje toka vrijednosti je tehnika za analizu i dizajniranje toka materijala i informacija potrebnih za isporuku finalnih proizvoda i usluga kupcu. Prvi korak je identificirati proizvod ili uslugu koju je potrebno analizirati. Slijedi crtanje dijagrama toka procesa, s naznačenim kretanjima materijala, aktivnostima, čekanjima, informacijama. Aktivnosti je nadalje potrebno podijeliti u tri skupine: aktivnosti koje dodaju vrijednost, aktivnosti koje ne dodaju vrijednost ali su nužne (gubici 1. vrste) i aktivnosti koje ne dodaju vrijednost i koje nisu nužne (gubici 2. vrste). Slijedi najvažniji korak, eliminacija osam vrsta gubitaka ili općenito eliminacija aktivnosti koje ne dodaju vrijednost i nisu nužne, što uobičajeno rezultira skraćenjem vremena proizvodnje, manjim škartom, manjim troškovima proizvodnje, kraćim rokovima isporuke, većim zadovoljstvom kupaca. Nadalje, potrebno je napraviti novi mapu s uvrštenim promjenama, te implementirati sve predviđene promjene, kao i osigurati održivost novog stanja u budućnosti.

Prethodni korak DMAIC-a, mjerenje procesa, rezultirao je procjenom trenutnog (početnog) stanja procesa. U sklopu procjene početnog stanja procesa upotrebljavane su kontrolne karte u cilju diferenciranja varijacija uslijed stalnih (uobičajenih) i povremenih (specijalnih) uzroka varijacije. Izmjereni podaci smješteni unutar kontrolnih granica označavali su da na varijabilnost procesa utječu isključivo stalni uzroci varijabilnosti, dok su podaci smješteni izvan kontrolnih granica upućivali na pojavu povremenih uzroka varijabilnosti. Imajući u vidu da su kontrolne karte u vremenskoj skali, moguće je očitati i vrijeme pojave povremenih uzroka varijabilnosti, te povezati ih s ostalim parametrima procesa u promatranom vremenskom intervalu. S druge strane, takva analiza nije moguća kod stalnih uzroka varijabilnosti jer je uzrok varijabilnosti cjelokupni sustav sa mnoštvom interakcija elemenata sustava.

U cilju otkrivanja mogućih uzroka varijacija u procesu često se upotrebljava metoda brainstorminga. Brainstorming (hrv. oluja mozgova) je metoda pronalaska ideja koju je osmislio Alex F. Osborn, a usavršio Charles Hutchison Clark. Najprije se formira skupina. Ovisno o problemu, skupine se mogu sastojati od stručnjaka / osoblja, laika ili stručnjaka različitih struka. Menadžment priprema materijale, uvodi skupine u problematiku koja se analizira i pojašnjava. Imenuje se soba koja vodi zapisnik. Četiri osnovna pravila brainstorminga su:



- kombiniranje izraženih ideja,
- komentari, ispravci i kritika nisu dopušteni,
- dobivanje velikog broja ideja u najkraćem vremenu,
- slobodno povezivanje i maštanje je dozvoljeno.

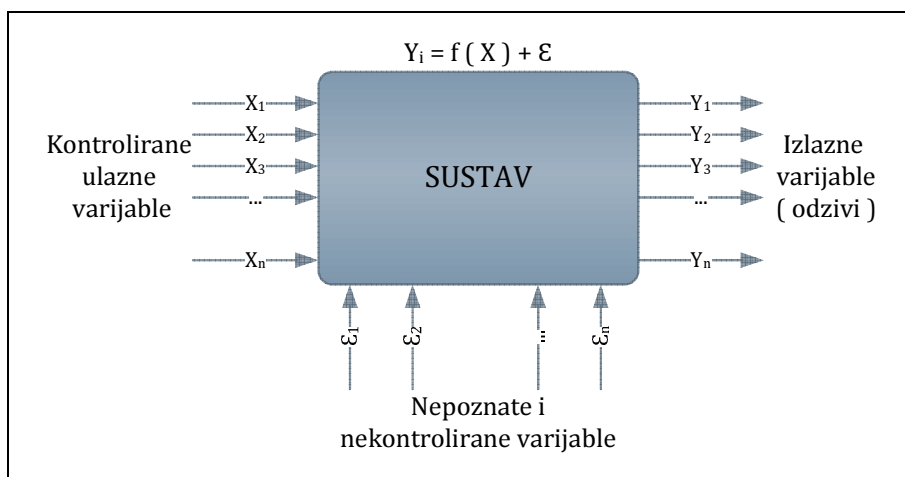
Uzroci varijabilnosti općenito mogu se pronaći u metodama procesa, primijenjenim materijalima, zaposlenicima, strojevima i instaliranoj opremi, mjernim sustavima i okolini. Dijagram uzroka i posljedica (Ishikawa dijagram, riblja kost) vrlo je jednostavna i korisna metoda kojom se pomoću vizualizacije prikazuje što veći broj uzroka koji dovode do posljedica koje se analiziraju, u cilju poboljšanja i unapređenja procesa kao što je smanjivanje varijabilnosti.

Dijagram, u pravilu, izrađuje grupa zaposlenika koji su direktno vezani za proces i upoznati s problemima unutar procesa. Razumno je odabrati tim na takav način da budu zastupljena različita stručna područja i različiti stupanj kvalifikacija. Tim se uobičajeno sastoji od 4 do 8 članova, kojima koordinira voditelj grupe. Dijagramom se identificiraju posljedice, uzroci određenih posljedica, te faktori koji utječu na pojavu uzroka. Također, dijagramom se relativno brzo stvara slika o problemu koji je potrebno riješiti, te dijagram ujedno predstavlja i sliku kolektivnog znanja. Stoga, njegova je primjena vrlo široka, u mnogim područjima gdje je potrebno poboljšati proces.

Za određivanje bitnih pokretača procesa, u velikom broju slučajeva, nužno je provođenje eksperimenata. Statistička kontrola procesa daje uvid u bivše stanje procesa, dok je planiranje pokusa snažan alat za otkrivanje potencijala procesa. Eksperimenti omogućuju razumijevanje stalnih i povremenih uzroka varijacija opaženih na kontrolnim kartama, kao i varijaciju između pojedinih podskupova unutar populacije.

Tradicionalni eksperimenti temelje se na variranju samo jednog utjecajnog faktora u određenom trenutku, dok se ostali faktori drže na konstantnim vrijednostima. Takav pristup ima veliki nedostatak jer ignorira mogućnosti međusobne interakcije utjecajnih faktora.

S druge strane, planiranje pokusa predviđa variranje većeg broja parametara koji su prepoznati kao važni za rezultat procesa, u cilju određivanja parametara koji rezultiraju odzivom ili rezultatom s najmanjom mogućom varijabilnosti. Proces ili sustav općenito može se pojednostaviti uporabom modela crne kutije, prikazan Slika 6., koji se sastoji od ulaznih varijabli (kontroliranih i nekontroliranih) i odziva sustava ili rezultata. Ulazne varijable su nezavisne (bez obzira radi li se o kontroliranim ili o nekontroliranim varijablama), dok je odziv (rezultat) zavisna veličina.



**Slika 6. Crna kutija procesa**

Cilj planiranja pokusa je pronaći uzročno posljedičnu vezu između veličina u procesu. U sklopu provođenja eksperimenta u pravilu se obavlja analiza varijance i regresijska analiza.

### 3.4 Poboljšavanje procesa DMAIC projekta (I)

Četvrti korak u aplikaciji metode DMAIC-a je poboljšavanje. On se najčešće sastoji od četiri aktivnosti, kako slijedi [8], [10], [11]:

- definiranje novog procesa,
- procjena koristi predloženog rješenja,
- evaluacija kvarova,
- implementacija i verifikacija.

Proces poboljšavanja mora rezultirati definiranjem nove prakse koja će zamijeniti dosadašnje procedure. Rezultat može biti potpuno novi tijek procesa ili promjena parametara unutar postojećeg procesa. Također, nije rijetkost da promjena parametara procesa zahtjeva i promjenu tijeka procesa, i obrnuto.

Kako bi se zbilja reducirala varijabilnost odziva procesa tijekom vremena, napor u procesu poboljšavanja moraju ići u smjeru kontroliranja faktora koji su najodgovorniji za određivanje karaktera odziva procesa. Na taj je način moguće otkloniti probleme prije nego što se uistinu dogode. Takvu prevenciju moguće je realizirati samo na temelju analize bitnih pokretača procesa koji utječu na varijabilnost odziva procesa u prethodnom koraku DMAIC metode. U procesu poboljšavanja, faktori koji su bitni pokretači procesa i biti će dodatno analizirani u cilju određivanja veličine i odnosa faktora koji osiguravaju optimalno odvijanje procesa.

Tradicionalni aspekt optimiranja ima zadatak naći najbolju kombinaciju visine faktora u cilju dostizanja točke optimuma, tj. minimuma ili maksimuma funkcije cilja. Minimiziranje vremena proizvodnje, minimiziranje troškova proizvodnje, minimiziranje duljine transportnih putova, maksimiziranje profita, minimiziranje temperature pečenja uz zadovoljenje kriterija pritiska čvrstoće, minimiziranje troškova energije, mogu se označiti kao primjeri tradicionalnog aspekta optimiranja.

U posljednje se vrijeme može primijetiti povećani interes za reduciranje varijacija odziva sustava. Stoga, novi aspekt procesa optimiranja uključuje određivanje kombinacije visina raznih faktora procesa u cilju minimiziranja varijacija odziva sustava, uz, naravno, zadovoljavajući prosječni odaziv procesa. Takav pristup procesu optimiranja najlakše je objasniti primjerima iz uslužnih djelatnosti, gdje kupci preferiraju konzistentnost (nešto lošiji rezultat uz manje varijacije) u odnosu na nešto bolji rezultat uz veće varijacije. Konzistentnost omogućuje veće mogućnosti planiranja, pa tako i veće iskorištenje resursa.

U slučajevima kada su optimalna rješenja poznata, istodobno model procesa nije u potpunosti jasan, pa se upotrebljava metoda odzivnih površina (eng. Response surface methodology), koja je u osnovi specijalni slučaj plana pokusa koji omogućuje lociranje područja optimuma u samo nekoliko iteracija, uz preglednu grafičku interpretaciju.

Sve varijacije plana pokusa uključivale su ispitivanje procesa tako da je došlo do zaustavljanja procesa, te ispitivanje odziva u područjima daleko od uobičajenog područja rada. Evolucijski postupak optimiranja (EVOP eng. Evolutionary operation) je iterativni način nalaženja optimalnog rješenja kod kojeg nema zaustavljanja procesa, jer iteracije počinju od uobičajenog područja parametara procesa, te uz relativno veliki broj iteracija postupno dolazi do optimalnog rješenja.

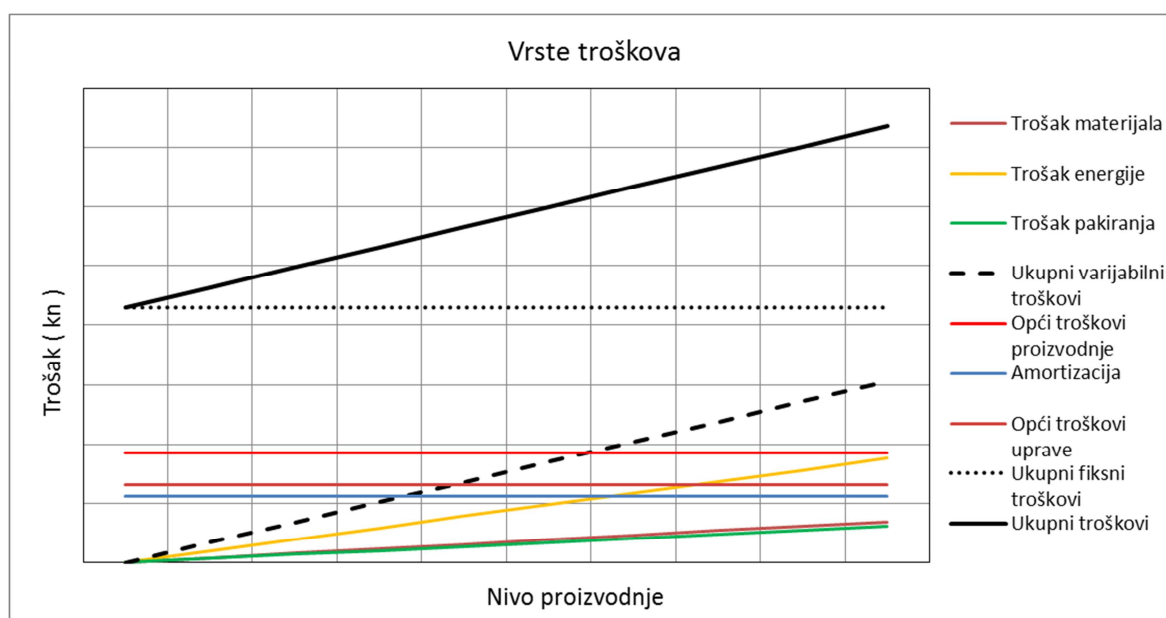
Simulacije su vrlo zahvalan alat za pronalaženje optimalnih rješenja u slučaju kada je model procesa poznat. Za razliku od regresijskog modela koji operira determinističkim faktorima koji su konstantni, faktori u simulacijama su određeni vjerojatnostima, te poprimaju različite vrijednosti. Simulacije imaju nekoliko značajnih prednosti u odnosu na izvođenje eksperimenata, kao što je relativno nizak trošak. Nadalje, simulacijom je moguće testirati puno više stanja procesa nego što je to moguće eksperimentom, stoga, simulacije su vrlo zahvalan alat za „What if“ (hrv. Što ako) analize.

U fazi analize procesa vrši se analiza toka vrijednosti i mapiranje toka vrijednosti (VSM). Proces poboljšavanja mora rezultirati redukcijom ili eliminacijom aktivnosti koje ne dodaju vrijednost za kupca. Također je potrebno smanjiti kompleksnost procesa, odbaciti nepotrebne faze procesa, nepotrebno čekanje i nepotrebni transport resursa.

Benchmarking je prikladan alat koji može dati korisne podatke u cilju redizajniranja toka procesa, procjenjujući tijek procesa sa konkurentskim procesom koji je percipiran kao mjera vrijednosti u svojem području. Za takvu usporedbu nije potrebno izvršiti detaljnu analizu procesa konkurenta već prikupiti samo bitne odrednice karakteristika i efikasnosti procesa.

Vrlo često događa se da tim uđe u fazu poboljšanja sa više mogućih načina unapređenja procesa. Zato, nužno je izvršiti evaluaciju svakog potencijalnog rješenja na temelju jasnih i objektivnih kriterija, u cilju postizanja optimalnog povrata investicije. Evaluacija se često obavlja matricom prioriteta, alatom za vrednovanje rješenja na temelju više kriterija različitih važnosti.

U cilju procjene potencijalnog smanjenja troškova povezanog uz svako ponuđeno rješenje poboljšanja, obavlja se financijska analiza, prikazana Slika 7. Kako bi bilo moguće kvantificirati financijske rezultate i rizike svakog pojedinog rješenja, potrebno je izvršiti podjelu troškova na fiksne i varijabilne. Fiksni troškovi su troškovi koji ne reagiraju na stupanj iskorištenja kapaciteta. Njihova će visina u masi za dani opseg poslovne aktivnosti ostati neizmijenjen bez obzira na to da li se povećava ili smanjuje stupanj iskorištenja kapaciteta. Amortizacija obračunata tijekom poslovne godine je reprezentativni primjer fiksnog troška. Varijabilni troškovi su troškovi koji se mijenjaju ako se mijenja stupanj iskorištenja kapaciteta, kao što su troškovi sirovina, energije, pakiranja itd.



**Slika 7. Podjela troškova prema stupnju iskorištenja kapaciteta**

Nakon što su poznati fiksni i varijabilni troškovi moguće je pristupiti izračunu EBIT-a (eng. Earnings before interest and taxes; hrv. Dobit prije kamata i poreza) za stanje prije i nakon procesa poboljšavanja. Time je moguće ostvariti vrednovanje profitabilnosti svakog rješenja za unapređenje procesa.

Kada se konačno formira novi tok procesa, moguće je ispravno evaluirati moguća stanja kvara procesa. Upoznavanje i shvaćanje potencijalnih stanja kvara procesa daje mogućnost definiranja strategije ublažavanja koja ima za cilj minimiziranje posljedica ili učestalosti kvara. Prihvatanje strategije ublažavanja može, također,

rezultirati novim procesnim koracima, procesnim parametrima i sigurnosnim procedurama.

Dijagram uzroka i posljedica konstruiran u fazi analize može biti vrlo koristan i u analizi mogućih uzroka kvarova. Osim toga, često se koriste i PDPC karte (eng. Process decision program chart; hrv. Programibilne karte za proces odlučivanja) koje dijagramom drva prikazuju moguće kvarove, posljedice tih kvarova, kao i odgovarajuće protumjere. Na PDPC prirodno se nadovezuje FMEA analiza (eng. Failure modes and effects analysis; hrv. Analiza vrste kvarova i efekata) koja detaljnije analizira moguće kvarove i posljedice, te kategorizira ozbiljnost vrste kvara na temelju posljedica.

Bez obzira na trend automatizacije proizvodnih procesa, greške zbog ljudskog faktora se još uvijek događaju. Greške ljudskog faktora mogu se općenito podijeliti u tri skupine: nenamjerne greške uslijed nepažnje, nenamjerne greške uslijed krive metode rada i namjerne greške. Greške zbog nepažnje je nemoguće predvidjeti, međutim, moguće ih je reducirati na najmanju moguću mjeru korištenjem metoda kao što je Poka Yoke. Tu metodu karakterizira mehanizam koji gotovo u potpunosti sprečava pojavu grešaka. Takav mehanizam može biti gotovo bilo što: karakterističan oblik pojedine pozicije sklopa koji onemogućava krivu montažu ili procedura pokretanja motora automobila koja zahtjeva pritisnutu pedal kočnice. Greške uslijed krive metode rada također su nenamjerne greške koje karakteriziraju pravilnosti pojave. Pravilnosti pojave ogledaju se primarno u činjenici da se stalno iste greške javljaju kod istog radnika. Uzrok navedenih grešaka primarno je loša osposobljenost za rad na određenom radnom mjestu, stoga, greške se uglavnom otklanjaju dodatnom edukacijom zaposlenika. Namjerne greške vrlo je teško otkriti, međutim, srećom, vrlo su rijetke.

Etapa poboljšavanja završava procesom implementacije i verifikacije. Implementacija poboljšanja, kao i promjene općenito, zahtijevaju pažljivost, ustrajnost i intenzivnu komunikaciju. Komunikacija s menadžmentom poduzeća je ključna, jer konstantno upoznavanje vodstva poduzeća, posredstvom sponzora, s aktivnostima i rješenjima projektnog tima osigurava njihovu pomoć i potporu, osobito u fazi implementacije, kada može doći do snažnih otpora uvođenju promjena. Također, komunikacija sa sudionicima u procesu veoma je bitna. Iako detaljan trening zaposlenika slijedi u

idućem koraku, neophodno je objasniti nove procedure, posebice procedure vezane uz kvarove.

### 3.5 Kontrola poboljšanja procesa DMAIC projekta (C)

Nužno je da posljednja faza DMAIC-a rezultira realizacijom slijedećih ciljeva [8], [10], [11]:

- nove metode trebaju biti standardizirane i uhodane,
- planirani i ostvareni rezultati poboljšanja trebaju biti kontinuirano praćeni i verificirani, posebice financijski pokazatelji,
- promjene trebaju biti dokumentirane.

U koraku poboljšavanja došlo je do promjena u procesu: stare metode i procedure ustupale su mjesto novim metodama i procedurama, ustrojena je kontinuirana i stroga kontrola procesa i ključnih parametara u cilju reduciranja varijacija. S druge strane, sudionici u procesu su naučeni na staro stanje procesa, stoga treba spriječiti postepeno ili trenutno vraćanje na staro, zbog nepredviđenih situacija ili pomanjkanja nadzora. Zbog toga, potrebno je poduzeti čitav niz mjera koje će osigurati održavanje postignute razine procesa kao što je intenzivna komunikacija sa sudionicima u procesu, trening zaposlenika, detaljna analiza novih dijagrama toka i procedura zajedno s zaposlenicima, konsenzus o važnosti kontroliranja varijabilnosti procesa kontrolom utjecajnih faktora, jasno prihvaćanje dužnosti i odgovornosti svakog sudionika u procesu.

Postoje dva načina održivog zadržavanja poboljšane razine procesa: preventiva ili znatna redukcija učestalosti pojave kvara i detekcija kvara prije nego što kupac postane svjestan kvara. U slučaju da su troškovi prevencije i detekcije kvara podjednaki, razumno je odlučiti se za preventivu jer se time izbjegava trošak otklanjanja kvara. Kada dođe do situacije da je preventiva skuplja od detekcije, često je razumno ipak odlučiti se za preventivu jer troškovima detekcije treba pribrojiti značajne skrivene troškove otklanjanja kvara. Može se općenito konstatirati da u mnogim ljudskim djelatnostima počinje prevladavati mišljenje da je preventiva u

konačnosti jeftiniji i bolji izbor od detekcije i korekcije, jer detekcija i korekcija nose skrivene troškove koji postaju vidljivi tek nakon određenog vremena. Za provođenje preventive ključno je otkrivanje pokretača procesa u fazi analize, a to su faktori koji utječu na varijabilnost odziva procesa, te praćenje i kontroliranje tih faktora.

Statistička kontrola procesa upotrebljava se i u posljednjoj fazi DMAIC-a. Prati se, nadalje, i kontrolira svaka bitna ulazna i izlazna varijabla procesa, tako da je moguće trenutno detektirati svako smanjenje stabilnosti procesa. Kontrolne karte su ključne za proces prevencije jer je moguće praćenjem relevantnih parametara procesa predvidjeti buduću nestabilnost ili pomak procesa.

Operativne procedure su upute operaterima u procesu na koji način, kada, s kime, gdje, kojim redoslijedom, obaviti aktivnost u cilju održavanja ispravnog odziva procesa. Iako su procedure podložne ljudskoj pogrešci, predstavljaju najbolje i najjeftinije rješenje za mnoge situacije. Kako bi se smanjila mogućnost ljudske pogreške procedure moraju biti jasne i nedvosmislene, bilo da su u tekstualnom obliku, ili u obliku dijagrama toka, mape procesa ili slika.

Plan kontrole omogućuje pregled strategija koje će biti uporabljene u svrhu kontroliranja ključnih procesa ili njihovih dijelova, putem prevencije, detekcije ili njihovom kombinacijom. Plan se temelji na rezultatima dva alata: planiranje pokusa i FMEA analiza. Planiranje pokusa je ključan alat za određivanje pokretača procesa, tj. procesnih faktora koji moraju biti kontrolirani u cilju sprečavanja grešaka procesa i smanjenja varijacije odziva. S druge strane, FMEA analiza daje uvid u kvarove koji su kritični. Plan kontrole, na temelju rezultata spomenutih alata, propisuje što će se kontrolirati, kako i koliko često.

Obuka zaposlenika ili trening je najbolji način prenošenja novih informacija, upoznavanja sa promjenama koje je proces DMAIC-a donio, te sprečavanja problema i krivih interpretacija novih procedura. Ovisno o dubini i opsegu promjena, trening može biti brzi sastanak sudionika u procesu na svojim radnim mjestima ili multidisciplinarni detaljni trening sa radionicama. Teme treninga moraju obuhvaćati sve nove informacije dobivene tijekom provođenja DMAIC-a, ključne faktore procesa i njihove interakcije i nove procedure.



Neophodan dio faze kontrole je kontinuirani nadzor postignutih rezultata. Dobar plan kontrole morao bi osigurati nadzor odziva procesa u obliku klasične interne kontrole ili u obliku vanjskog nadzora. Uzorkovanje treba obavljati kontinuirano u cilju kontrole i dokazivanja postignute trajne sposobnosti procesa. Uobičajena je praksa da „crni pojas“ preuzme odgovornost za verificiranje postignutog nivoa procesa, kao i da određeno vrijeme nadgleda provođenje kontrole i procedura.

Praćenje postignutih finansijskih rezultata posebice je važan i osjetljiv dio faze kontrole. Izvještaj mora uključivati stvarne troškove i uštede koji su rezultat provođenja projekta, kao i usporedba procijenjenih i ostvarenih finansijskih veličina.

Rezultati postignuti Six sigma projektom trebaju biti dokumentirani završnim izvještajem projekta. Završni izvještaj treba sadržavati slijedeće informacije:

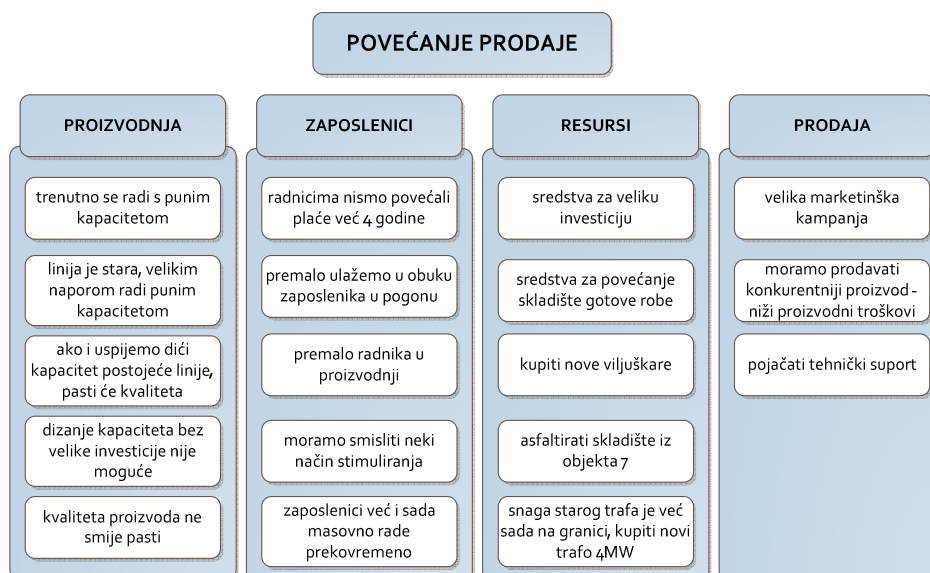
- povelju projekta, rezultat procesa definiranja projekta, sa osnovnim informacijama kao što je problem koji mora biti riješen projektom, ciljeve itd.,
- rezultate i ciljeve svakog pojedinog koraka DMAIC-a,
- priloge, rezultate analiza, vremenske planove,
- troškove implementacije projekta, uključujući pad kapaciteta i dodatne troškovi radne snage,
- ostvarene uštede, plan ušteta u slijedeće tri godine,
- potencijalne buduće projekte,
- preporučene voditelje projekata i sponzore.

Uobičajena je praksa da se završni izvještaj projekta daje odjelu financija na reviziju finansijskih podataka, te konačno i sponzoru, koji formalno odobrava završni izvještaj i potvrđuje kraj projekta.

### 3.6 Six sigma alati

Alati koji se koriste u metodologiji Six sigme veoma su brojni, pa se zbog toga često u literaturi nalazi više od 60 alata. Međutim, iako se ti alati koriste u okviru Six sigme, ni u kojem slučaju ne može se reći da su to alati koje pripadaju Six sigmi. Oni pripadaju različitim područjima, najviše statistici, području kvalitete, Lean-u, menadžmentu, ekonomiji [5], [6], [8], [9] itd.

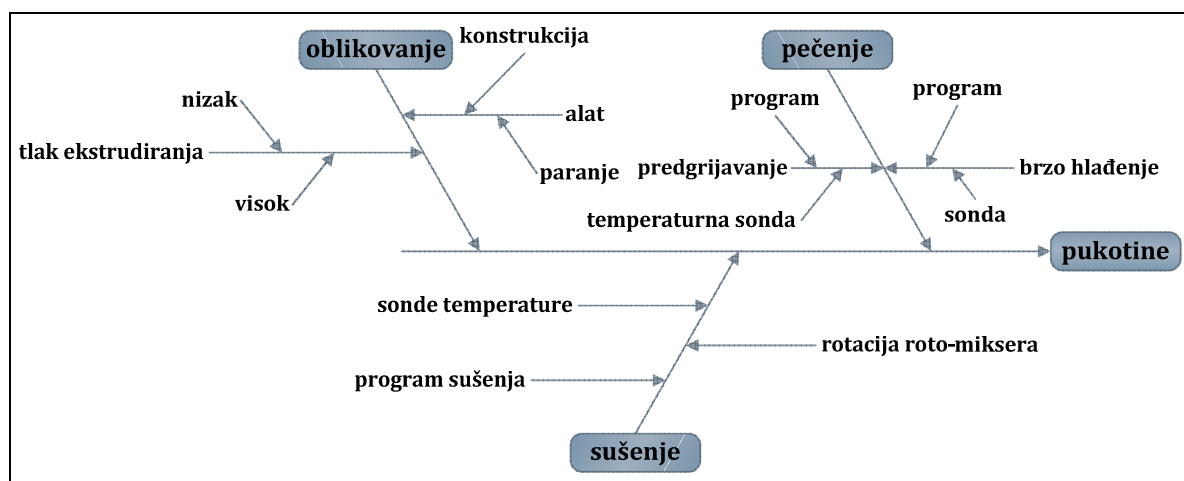
**1. Dijagram srodnosti** (eng. Affinity diagram) je raširen alat, prikazan na Slika 8., kojim grupiramo i organiziramo veliki broj različitih, nesistematiziranih, nepovezanih mišljenja i ideja. Dijagram je često prvi korak u procesu rješavanja problema jer rezultira s velikim brojem aspekata analiziranog problema. Stoga, upotrebljava se u cijelom procesu DMAIC-a od definiranja do kontrole. Uobičajena je primjena u grupnom radu, posebice brainstormingu. Sudionicima sastanka prezentira se određeni općeniti problem ili ideja. Oni odgovaraju upisivanjem jednog mišljenja, ideje ili problema o navedenoj temi na jednoj kartici. Važan je princip da jedan sudionik može ispuniti onoliko kartica koliko ima ideja, kao i stroga zabrana bilo kakve kritike. Nakon popunjavanja kartica, one se trebaju izmiješati, te posložiti na stolu po kriteriju smislenih cjelina.



**Slika 8. Dijagram srodnosti**

**2. ANOVA** (eng. Analysis of variance; hrv. Analiza varijance) postupak je usporedbe više uzoraka, pri čemu svaki uzorak predstavlja osnovni skup ili populaciju. Postupkom se provjeravaju promjene aritmetičkih sredina uzoraka, tako da je moguće provjeravati efekte promjene određenog utjecajnog faktora na konačni rezultat. Izračunava se ukupna suma kvadrata odstupanja (zbroj kvadrata odstupanja između uzoraka i unutar uzoraka), stupnjevi slobode, srednji kvadrati odstupanja i F vrijednosti, te se testira nulta hipoteza  $H_0$  da su prosjeci svih populacija jednaki. Postupak se rabi u fazi mjerenja u cilju izoliranja uzroka pogrešaka mjerenja, kao i u fazi analize, kada testiramo različitost uzoraka kao izvor varijabilnosti procesa.

**3. Dijagram uzroka i posljedica** (Ishikawa dijagram, riblja kost; eng. Cause and effect diagram), prikazan Slika 9., vrlo je jednostavna i korisna metoda kojom se pomoću vizualizacije prikazuje što veći broj uzroka koji dovode do posljedica koje se analiziraju.

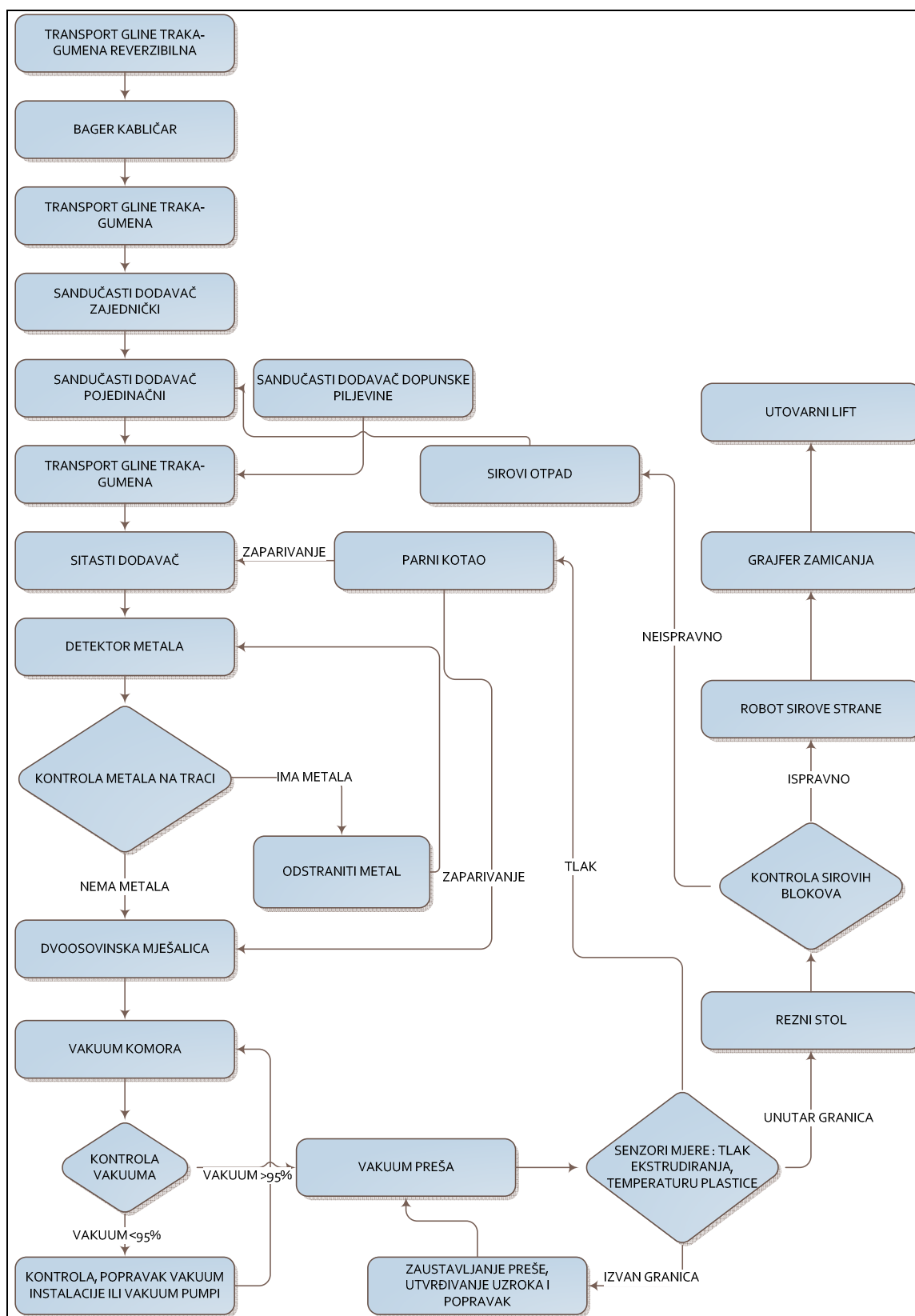


Slika 9. Dijagram uzroka i posljedica

Dijagram je uobičajeno rezultat brainstorm sastanka, na kojem participiraju zaposlenici iz različitih područja, te imaju zadatak identificirati posljedice, te uzroke određenih posljedica. Glavne grane riblje strukture predstavljaju skupine potencijalnih uzroka neželjenih posljedica. Uzroci se uobičajeno mogu podijeliti u 6 skupina – 5 M i E (eng. manpower, machines, methods, material, measurement, environment; hrv. zaposlenici, strojevi, metode, materijali, mjerenja, okoliš). Glavne uzroke moguće je dodatno raščlaniti na dodatne pod-uzroke, ovisno o željenoj razini analize. Bitno je

imati na umu da su navedeni uzroci samo potencijalni uzorci, budući da jedino podaci mogu dokazati uzročno-posljedične veze.

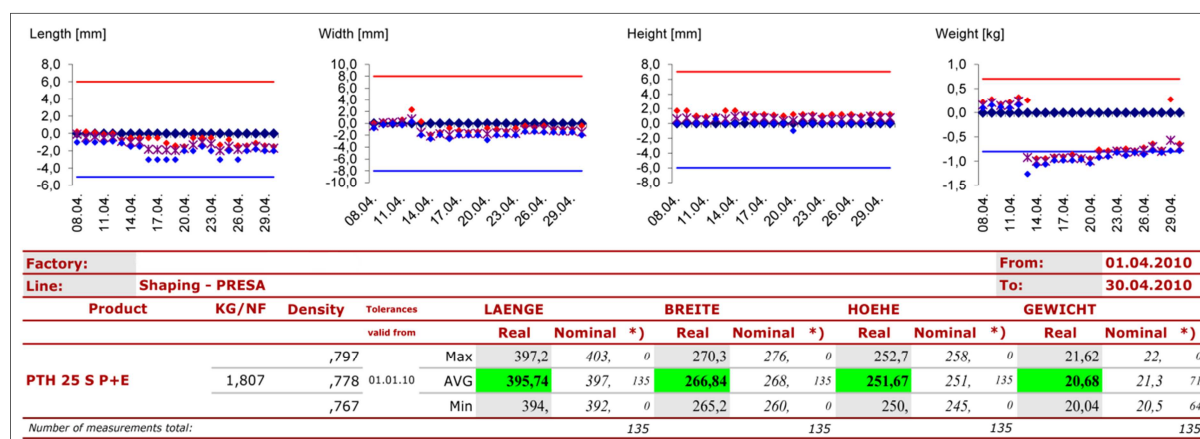
**4. Dijagram toka** je vrsta dijagrama koji prikazuje algoritam ili proces, te prikazuje korake, aktivnosti, odluke u različitim geometrijskim oblicima. Elementi procesa međusobno su spojeni strelicama, tako da je moguće pratiti odvijanje samog procesa. Dijagrami toka upotrebljavaju se u projektiranju i dokumentiranju složenih procesa. Poput drugih vrsta dijagrama, oni pomažu u vizualizaciji samog procesa, te time pomažu u razumijevanju i praćenju složenih procesa. Područje primjene je izrazito široko, stoga, dijagrami toka su vjerojatno najzastupljeniji alat Six sigme. U procesu DMAIC-a upotrebljavaju se u fazama mjerenja procesa (prikazivanje postojećeg procesa), analize (otkrivanje kompleksnosti procesa koji doprinose varijacijama), poboljšanja (prikaz predloženih poboljšanja) i kontrole (dokumentiranje poboljšanog procesa). Na Slika 10. može se vidjeti prikaz dijagrama toka procesa oblikovanja opekarskih proizvoda.



Slika 10. Dijagram toka procesa oblikovanja

**5. Kontrolne karte** ključni su dio statističke kontrole procesa, metode kontrole kvalitete na temelju snažnih statističkih alata koja ima za cilj povećanje udjela

ispravnih rezultata procesa uz minimiziranje gubitaka. Zadatak uporabe kontrolnih karata je praćenje, otkrivanje i vizualizacija poremećaja karakteristika promatranog procesa. Na temelju praćenja parametara procesa konstruira se dijagram koji na svojoj apscisi sadrži vrijeme odvijanja procesa, dok su na ordinati označene vrijednosti središnje linije, vrijednosti gornje i donje kontrolne granice. Ako je svaka točka središnje linije pozicionirana između gornje i donje kontrolne granice, može se zaključiti da je promatrani proces pod kontrolom i da na proces djeluju samo stalni ili uobičajeni uzroci varijabilnosti. S druge strane, ako postoje točke koje su pozicionirane izvan kontrolnih granica, može se zaključiti da promatrani proces nije pod kontrolom i da na proces djeluju i povremeni ili specijalni uzroci varijabilnosti. Slika 11. prikazane su kontrole karte dužine, širine, visine i mase sirovih proizvoda.



Slika 11. Kontrolne karte procesa oblikovanja [18]

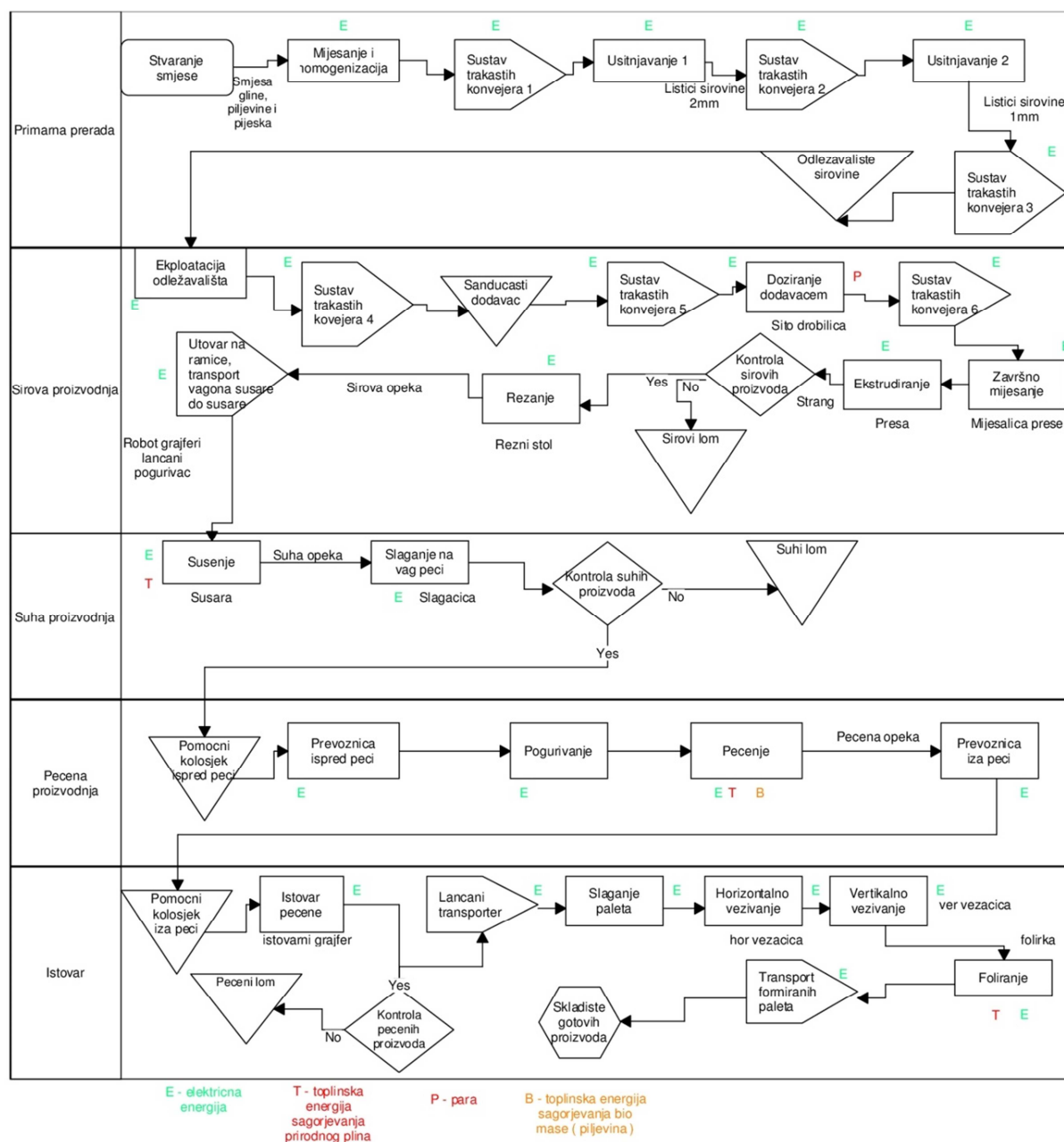
**6. Pareto dijagram** (nazvan po talijanskom ekonomisti V. Paretu) je tehnika klasificiranja problema odnosno područja prema stupnju važnosti ili relevantnosti. V. Paret postavio je u 19 stoljeću tvrdnju da je relativno mali broj faktora od presudnog značenja za veliki broj uzroka pojava koje želimo reducirati ili otkloniti (reklamacije, troškovi, zastoji itd.). Stoga, potrebno je izvršiti klasificiranje važnosti pojedinih faktora u cilju usmjeravanja napora na rješavanje najvažnijih faktora, ne gubeći pritom energiju na manje važne ili nevažne faktore. Metoda se temelji na činjenici da postoji mali broj faktora koji uzrokuju veliki broj neželjenih pojava. Načelo 80/20 govori o tome da 80% problema (zastoja, troškova, defekata) uzrokuje samo 20% faktora. Na Slika 12. može se vidjeti tipična struktura proizvodnih troškova u opekarskoj industriji. Imajući u vidu da troškovi nabavke prirodnog plina sudjeluju s

blizu 40% u ukupnim proizvodnim troškovima. Zbog toga, svi pokušaji smanjenja proizvodnih troškova započinju i temelje se na racionalizaciji potrošnje plina.



**Slika 12. Struktura proizvodnih troškova [17]**


**7. Mape procesa** su grafički alat za dokumentiranje odvijanja procesa. Veoma su slične dijagramima toka, međutim, mape procesa su detaljnije, jer je istima moguće pridružiti tok dodavanja vrijednosti, tok materijala u procesu, procesna vremena ili podjelu procesa s aspekta pripadnosti funkcionalnom odjelu. Mape se osobito često koriste u procesima DMAICA-a, u procesu definiranja (dokumentiranje cjelokupnog procesa, identifikacija sudionika u procesu), mjerenja (dokumentiranje donjih nivoa procesa), analize (otkrivanje kompleksnosti procesa, otkrivanje mjesta i sudionika koji su odgovorni za varijacije ili duga procesna vremena), poboljšanja (prikaz predloženog novog stanja) i kontrole (dokumentiranje novog stanja). Svaka aktivnost, kao i u dijagramu toka, predstavljena je odgovarajućim simbolom. Iako je dopuštena uporaba ANSI standardnih simbola, većina stručnjaka koji vrše mapiranje procesa upotrebljavaju samo dva simbola: pravokutnik za aktivnosti i romb za procese donošenja odluka. Slika 13. prikazana je mapa procesa proizvodnje opekarskih proizvoda.



Slika 13. Mapa procesa proizvodnje opekarskih proizvoda

**8. FMEA analiza** (eng. Failure modes and effects analysis; hrv. Analiza vrste kvarova i efekata) detaljno analizira moguće kvarove (nesukladnosti) i posljedice, te kategorizira ozbilnost vrste kvara (nesukladnost) na temelju posljedica, učestalosti i učinkovitosti detektiranja nesukladnosti, što se može vidjeti na Slika 14. Cilj primjene je detaljno razumijevanje nastanka kvarova i posljedica do kojih dolazi, primjenjujući pritom sustav određivanja prioriteta na temelju tri faktora: faktor ozbilnosti posljedica, faktor učestalosti pojave nesukladnosti i faktor učinkovitosti detektiranja nesukladnosti.





| Rangiranje faktora          |                                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| Ozbiljnost                  | Učestalost                                  | Detektiranje                    |
| opasnost bez upozorenja     | vrlo visoka učestalost ( skoro neizbježno ) | gotovo nemoguća detekcija       |
| gubitak primarne funkcije   | često ponavljanje nesukladnosti             | neznatna vjerojatnost detekcije |
| gubitak sekundarne funkcije | umjereno ponavljanje nesukladnosti          | niska vjerojatnost detekcije    |
| manja nesukladnost          | povremena nesukladnost                      | umjerena vjerojatnost detekcije |
| nema efekta                 | nesukladnost malo vjerojatna                | gotovo sigurna detekcija        |

Slika 14. Rangiranje faktora FMEA analize

Elementi FMEA analize razlikuju se ovisno o tome radi li se u tijeku razvoja proizvoda ili u uvjetima postojećeg proizvodnog ciklusa. Nadalje, elementi ovise i o zadanom opsegu analize, tako da razlikujemo procesne i sustavne FMEA analize. Međutim, svaku FMEA analizu čine slijedeći elementi:

1. općeniti podaci o vrsti procesa, ime zaposlenika koji je popunio obrazac, vrijeme popunjavanja obrasca i aktualna verzija
2. popis procesnih koraka čiji ulazi ključnih procesa su kontrolirani
3. popis specifičnih ulaza ključnih procesa
4. popis oblika potencijalnih kvarova za promatrani ulaz ključnog procesa; moguće je pojavljivanje više oblika potencijalnih kvarova; oblik kvara mora biti opisan fizičkim i tehničkim terminima
5. popis efekata koji prepoznaje kupac, uslijed pojave kvara
6. popis potencijalnih uzroka pojedinog oblika kvara; moguće je pojava višestrukih uzorak pojedinog oblika kvara
7. popis raznih vrsta kontrola u cilju detektiranja uzroka kvara
8. ljestvica ozbiljnosti efekata kvara percipirana od strane kupca od 1 do 10
9. ljestvica učestalosti pojedinog oblika kvara od 1 do 10
10. ljestvica učinkovitosti postojećih mjera kontrole u cilju detektiranja kvarova od 1 do 10

11. RPN (eng. Risk priority number; hrv. Faktor ranga rizika) je faktor kojim se kvantificira rang rizika; iznos RPN-a je umnožak faktora ozbiljnosti, učestalosti i učinkovitosti detektiranja kvara; opseg od 1 do 1000; povećavanjem ozbiljnosti i učestalosti kvara, te padom učinkovitosti detektiranja kvara ili nesukladnosti, faktor RPN raste do maksimalne vrijednosti od 1000, i obrnuto
12. na temelju faktora RPN predlažu se mjere za reduciranje rizika kojemu je kupac izložen; provođenje mjera može djelovati samo na faktore učestalosti i učinkovitosti detektiranje; promjena faktora ozbiljnosti moguća je samo mijenjanjem načina uporabe ili namjene određenog proizvoda, usluge ili informacije
13. ime osobe koja je odgovorna za provedbu odabranih mjera
14. popis obavljenih specifičnih mjera za reduciranje rizika
15. revidirani faktora rizika nakon implementacije mjera za reduciranje rizika

Tablica 1. prikazana je FMEA analiza procesa oblikovanja opekarskih proizvoda.

Tablica 1. FMEA analiza procesa oblikovanja opekarskih proizvoda

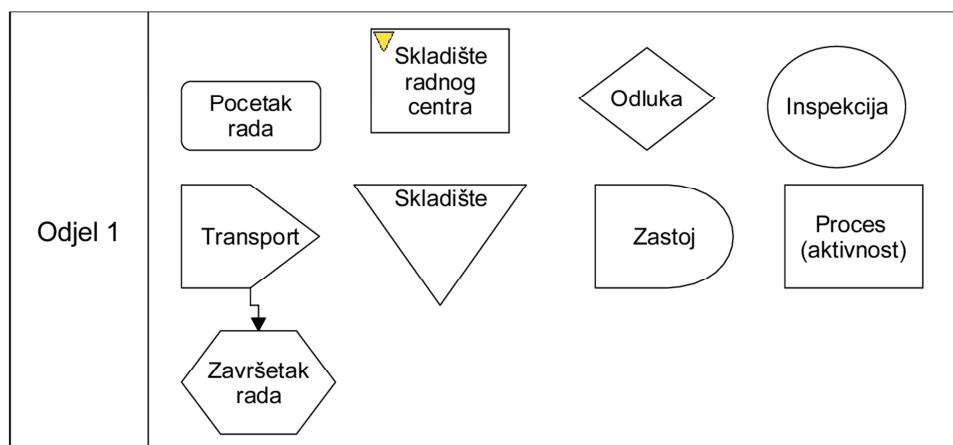
| FMEA analiza                              |                                     |                                                                                 |                                                                         |            |                                                                       |            |                                      |           |       |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------|-----------|-------|
| Proces : Oblikovanje - pojava pukotina    |                                     |                                                                                 |                                                                         |            | Pripremio : Predrag Grahovac                                          |            |                                      |           |       |
| Odgovoran : Predrag Grahovac              |                                     |                                                                                 |                                                                         |            | Datum : 21.10.2013.                                                   |            |                                      | Ver.1     | 1.    |
| 2.                                        | 3.                                  | 4.                                                                              | 5.                                                                      | 8.         | 6.                                                                    | 9.         | 7.                                   | 10.       | 11.   |
| Korak procesa                             | Ulaz ključnog procesa               | Oblik potencijalnog kvara                                                       | Efekti potencijalnog kvara                                              | Ozbiljnost | Potencijalni uzrok                                                    | Učestalost | Postojeće kontrole                   | Detekcija | R P N |
| oblikovanje                               | čvrsti elementi zaglavljani u alatu | pukotine - paranje                                                              | sniženje pritisne čvrstoće, estetski nedostaci                          | 7          | sasušena glina, ulaz kamenja u sandučasti dodavač gline               | 4          | vizualna kontrola operatera na preši | 4         | 112   |
| oblikovanje                               | tlak ekstrudiranja                  | pukotine                                                                        | sniženje pritisne čvrstoće, estetski nedostaci, velika mogućnost škarta | 8          | nepravilan rad regulacije tlaka preše, nepravilan rad ventila za paru | 4          | vizualna kontrola operatera na preši | 5         | 160   |
| 12.                                       | 13.                                 | 14.                                                                             | 15.                                                                     |            |                                                                       |            |                                      |           |       |
| Predložene mjere                          | Odgovornost                         | Poduzete mjere                                                                  | Ozbiljnost                                                              | Učestalost | Detekcija                                                             | R P N      |                                      |           |       |
| olakšati vizualni pregled izlaza iz preše | voditelj proizvodnje                | instalacija kamere iza reznog stola s monitorom na radnom stolu operatera preše | 7                                                                       | 3          | 2                                                                     | 42         |                                      |           |       |
| olakšati vizualni pregled izlaza iz preše | voditelj proizvodnje                | instalacija kamere iza reznog stola s monitorom na radnom stolu operatera preše | 8                                                                       | 3          | 2                                                                     | 48         |                                      |           |       |

**9. Simulacije** su vrlo zahvalan alat za pronalaženje optimalnih rješenja u slučaju kada je model procesa poznat. Za razliku od regresijskog modela koji operira determinističkim faktorima koji su konstantni, faktori u simulacijama su određene vjerojatnostima, te poprimaju različite vrijednosti uz pomoć generatora slučajnih brojeva. Simulacije imaju nekoliko značajnih prednosti u odnosu na izvođenje

eksperimenata, kao što je relativno nizak trošak. Povrh toga, simulacijom je moguće testirati puno više stanja procesa nego što je to moguće eksperimentom, stoga, simulacije su vrlo zahvalan alat za „What if“ (hrv. Što ako) analize. Zato, simulacijama je moguće testirati odziv sustava na najnepovoljnije faktore, što nije moguće testirati u realnim uvjetima, te se može na temelju takvih simulacija generirati vrijedne procedure i upute na koji način se ponašati u slučaju graničnih odziva sustava, te time i u kriznim situacijama.

Na tržištu postoje brojni softverski alati za simulaciju procesa. Aplikacija SigmaFlow, softverske tvrtke iz Teksasa, namijenjen je za simulaciju procesa, kao i za mapiranje procesa, Six sigma alate (FMEA analiza, SIPOC, DMAIC povelja ...).

Početak rada je modeliranje procesa, tj. izrada dijagrama toka procesa. Sam proces izrade dijagrama toka vrlo je sličan radu u MS Visio, uostalom, SigmaFlow zahtjeva instalaciju navedenog softverskog rješenja tvrtke Microsoft. Za kreiranje dijagrama toka na raspolaganju su nam simboli uobičajeni za sam dijagram, što se može vidjeti na Slika 15. Simboli se mogu pridružiti pojedinačnom odjelu u poduzeću. Također, simboli se vrlo lako povezuju strelicama u cilju određivanja toka materijala, informacija i slično.

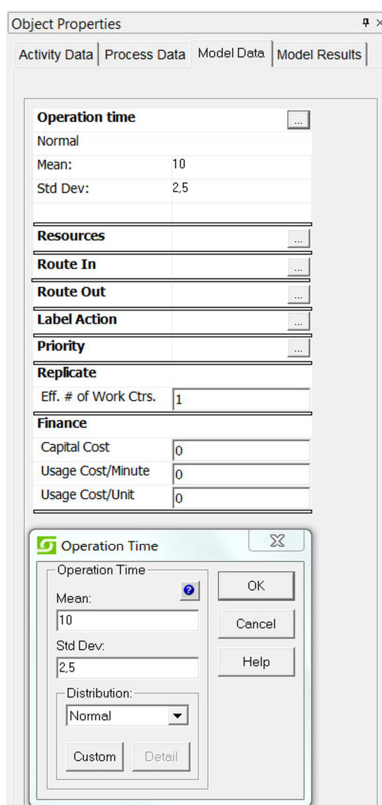


**Slika 15. Simboli modeliranja procesa u SigmaFlow**

Simbole (aktivnosti, skladišta, odluke i sl.) pridružujemo određenom odjelu, povezujemo ih strelicama, te time stvaramo dijagram toka. Svakom objektu (aktivnosti, odluci...) moguće je pridružiti određena svojstva, prikazana Slika 16., kao što su:

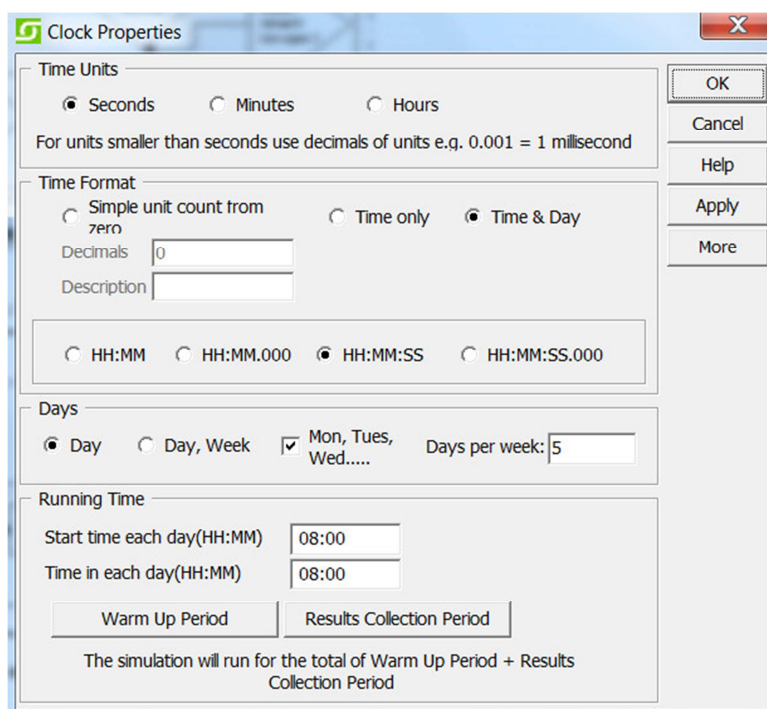
- podaci o aktivnosti,
- procesni podaci,
- podaci modela,
- rezultati modela.

Nadalje, može se odrediti vrijeme odvijanja aktivnosti (omogućene su različite distribucije vremena), trošak aktivnost po vremenu ili po obavljenom poslu itd. Za skladište moguće je odrediti kapacitet, troškove skladištenja, princip izdavanja robe fifo (eng. First in, first out; hrv. Prvi unutra, prvi van) ili lifo (eng. Last in, first out; hrv. Zadnji unutra, prvi van) princip.



**Slika 16. Svojstva objekata u SigmaFlow [20]**

Nakon određivanja svojstva pojedinih objekata može se započeti s definiranjem svojstava simulacije, prikazana Slika 17., kao što je sat simulacije, određivanje vremenskih jedinica, dužine simulacije, oblik vremena itd.

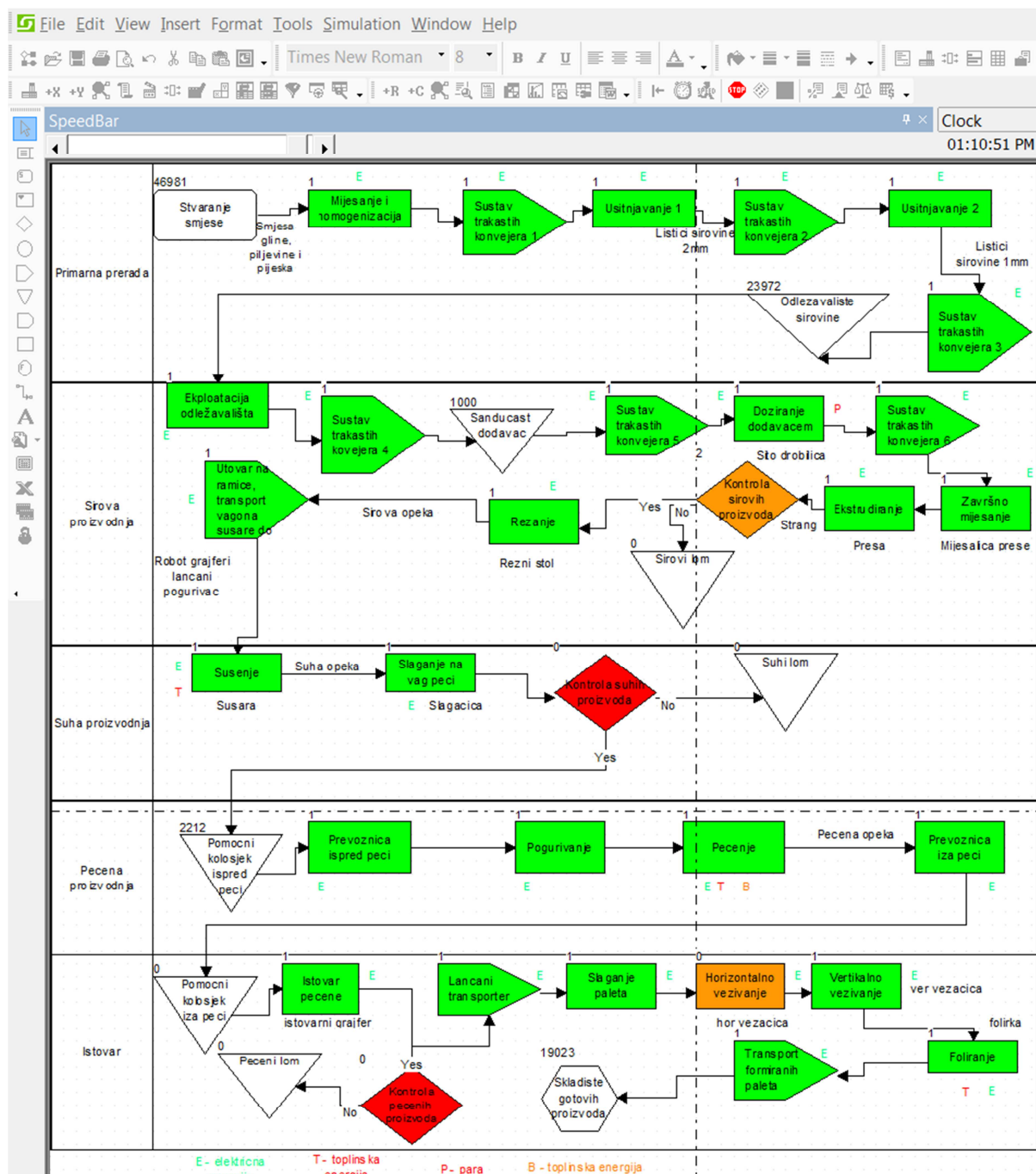


**Slika 17. Sat simulacije u SigmaFlow [20]**

Slijedeći korak je pokretanje simulacije. Prilikom odvijanja simulacije moguće je pratiti prolazak materijala (ili informacija) kroz dijagram toka, količine koje ulaze i izlaze iz procesa, trenutno stanje skladišta itd. Bojom procesa se određuje trenutno stanje procesa na slijedeći način: zelena boja znači da je proces aktivan, crvena boja označava da proces čeka ulazak materijala/informacije, dok narančasta boja znači da je proces blokiran. Nakon završetka simulacije moguće je dobiti detaljan izvještaj o rezultatima simulacije, te izvještaj prenijeti u excel format na daljnju obradu.

Softver SigmaFlow Modeler pokazao se kao zgodan alat za vizualizaciju procesa upotrebljavajući dijagrame toka, te za simuliranje rezultata postojećeg i poboljšanog procesa.

Na Slika 18. nalazi se prikaz odvijanja simulacije proizvodnje opekarskih proizvoda.



Slika 18. Simulacija procesa proizvodnje opekarskih proizvoda programom SigmaFlow

#### 4. REINŽENJERING POSLOVNIH PROCESA

Jedna od metoda poboljšanja poslovnih i proizvodnih procesa jest Reinženjering poslovnih procesa (RPP). To je poslovna strategija koja stavlja procese i njihove odnose u središte pažnje radi njihovog dramatičnog poboljšanja. Pioniri reinženjeringa Michael Hammer i James Champy definirali su ga kao „temeljno promišljanje i radikalno redizajniranje poslovnih procesa kako bi se postigla dramatična poboljšanja u kritičnim suvremenim mjerilima uspjeha kao što su trošak, kvaliteta, usluga i brzina“ [7].

Reinženjering nije kontinuirano poboljšavanje postojećeg procesa, smanjivanje troškova, povećanje efikasnosti, rast proizvodnje, ukidanje odjela poduzeća. Reinženjering nije ni automatizacija, reinženjering znači počinjati od početka, napuštati duboko utemeljene procedure i naučeni način razmišljanja. Treba zaboraviti sve o dosadašnjem poslovnom modelu i dati odgovor na pitanje: što tvrtka treba raditi i kako treba raditi. Podloga svakom procesu reinženjeringa je prazan list papira.

Poslovna strategija reinženjeringa odbacuje tradicionalnu podjelu rada i funkcionalni tip organizacije, smatrajući ih reliktom prošlosti i neadekvatnim modelom za poslovanje u 21. stoljeću.

Tradicionalna podjela rada, prema stručnjacima reinženjeringa, ispunila je svoju svrhu nakon Drugog svjetskog rata u uvjetima: kontinuirano rastuće potražnje, stalnog povećanja instaliranih kapaciteta u cilju zadovoljenja potražnje, masovne proizvodnje, ekonomike obujma, nezahtjevnih i needuciranih kupaca, stabilnih tržišta itd.

Pojedini procesi se u funkcionalnoj organizaciji u pravilu odvijaju u više različitih odjela unutar iste tvrtke, te stoga zahtijevaju suradnju i koordinaciju pojedinih odjela, što prema stručnjacima reinženjeringa često dovodi do zbrke, smetnji, zastoja, problema u komunikaciji, sklonosti greškama uslijed interakcije velikog broja zaposlenika i slično. Nadalje, proces nema svog voditelja, dakle, nitko ne može promatrati, voditi, nadgledati i biti odgovoran za pojedini proces u cjelini.



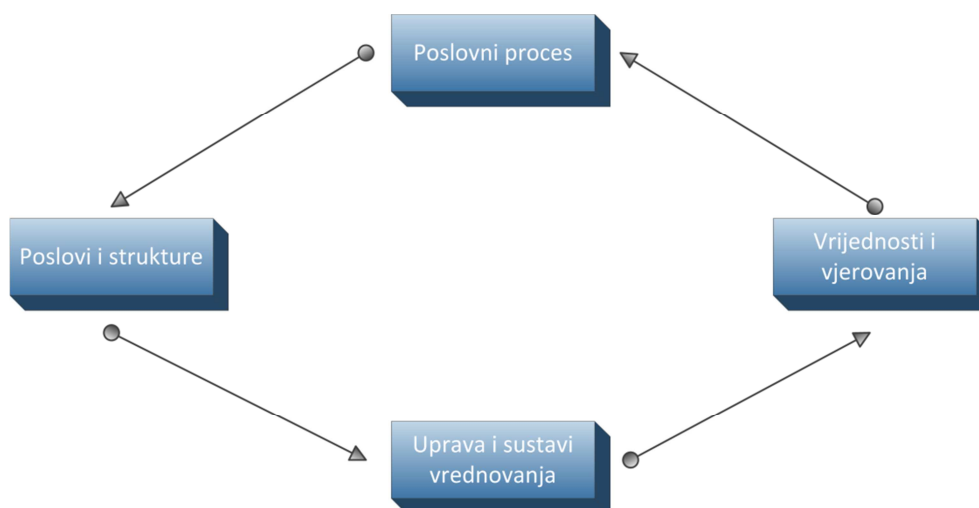
Tvrtkama stvorenim u uvjetima masovne proizvodnje, stabilnosti i rastu potražnje pripisuje se nedostatak fleksibilnosti i sposobnosti reagiranja, nedostatak fokusa na kupca, naglasak na aktivnosti umjesto na rezultat, manjak inovacije, visoki fiksni troškovi, bujanje birokracije itd. Razlozi tomu su iz temelja promijenjeni uvjeti poslovanja uslijed tri faktora: kupci, konkurencija i promjene. [7]

„Svaki kupac može kupiti auto obojan bojom po vlastitom izboru, pod uvjetom da je crna.“ – Henry Ford. Iako ironičan komentar koji se odnosi na mogućnost personalizacije modela T na početku dvadesetog stoljeća, oslikava početni odnos prema kupcu na početku masovne proizvodnje. Naravno da se odnos prema kupcu mijenjao tijekom vremena, međutim, karakterizirala ga je veća potražnja od ponude, te time i izvjesnost plasmana. Danas, s druge strane, ne postoji manjak proizvoda široke potrošnje, kupac ima lice, zahtjeva poseban tretman i personalizirani pristup, ima mogućnost dobivanja neograničenih količina informacija, stoga, jasno izražava što želi, kako i kada to želi, kao i koliko je spreman za to platiti.

Konkurentnost se više ne temelji isključivo na principu da prihvatljiv proizvod i najpovoljnija cijena znači uspješan plasman na tržištu. Ne samo da je danas konkurencija izrazito brojnija nego prije, nego su i kriteriji konkurentnosti sve brojniji. Ovisno o tržištu, konkurentnost se može temeljiti na: cijeni, kvaliteti, mogućnosti personalizacije, karakteristikama, životnom vijeku, mogućnosti recikliranja i ekološkim aspektima, jednostavnosti korištenja, korisničkoj podršci itd.

U globaliziranom svijetu tvrtke su izložene stalnim tehnološkim promjenama i inovacijama, promjenama želja i zahtjeva kupaca, skraćanju životnog vijeka proizvoda, sve učestalijoj i zahtjevnijoj korisničkoj podršci. Ovo je naročito izraženo u industriji mobilne telefonije, gdje se zahtjevi kupaca mijenjaju doslovno na mjesečnom nivou, ovisno o mogućnostima koje je ponudio pojedini proizvođač. Nadalje, skraćivanje životnog vijeka mobilnih uređaja ima za posljedicu skraćenje vremena za razvoj, planiranje proizvodnje, testiranje, marketinške zahvate, kao i izdavanje frekventnijih poboljšanja i nadogradnji softvera. To direktno ima za posljedicu da tvrtke moraju povećati razinu svoje fleksibilnosti i skratiti vrijeme reakcije na promjene na tržištu.

Proces reinženjeringa poslovnih procesa tvrtke mijenja sve procese i elemente tvrtke iz razloga što su procesi tvrtke međusobno povezani. Stoga, promjena jednog procesa uzrokuje nužnost promjene i drugog procesa. Zaposlenici, poslovi, menadžeri i vrijednosti su međusobno povezani, te tvore tzv. dijamant poslovnog sustava, prikazan na Slika 19. [7]



**Slika 19. Dijamant poslovnog sustava [7]**

Gornji dio dijamanta predstavlja način na koji se posao odvija, tj. poslovni procesi tvrtke. Nadalje slijede poslovi i strukture, uprava i sustavi vrednovanja, te kultura. Od osobite su važnosti veze kojima su povezani pojedini elementi poslovnog sustava u kružnu strukturu, tako da pojedini element determinira slijedeći.

Suština reinženjeringa poslovnih procesa je promjena, a ne bolja i efikasnija primjena postojećih pravila. Iako ne postoje dva ista procesa reinženjeringa poslovnih procesa, iz razloga što ne postoje dvije iste tvrtke, moguće je ipak generalno identificirati područja promjena:

- promjena radnih jedinica: od funkcionalnih odjela prema procesnim timovima,
- promjena vrste poslova: od jednostavnih zadataka u višedimenzionalni posao,
- promjena uloga: od kontroliranih u ovlaštene za odlučivanje,
- promjena pripreme za rad: od vježbe u obrazovanje,
- promjena mjerila izvedbe i naknade: od aktivnosti u rezultate,
- promjena kriterija za napredovanje: od učinkovitosti u sposobnost,

- promjena sustava vrijednosti i korporativne kulture: od zadovoljavanje šefa prema zadovoljavanje klijenata,
- promjena uloga menadžera: od šefa prema treneru,
- promjena organizacijske strukture: od hijerarhijske u ravnu,
- promjena uloge izvršnih rukovodilaca: od nadglednika prema vođi.

#### 4.1 Povijest Reinženjeringa poslovnih procesa

Organizacija rada, bez obzira radi li se o proizvodnom ili uslužnom poduzeću, još uvijek se najvećim dijelom temelji na podjeli rada koju je opisao Adam Smith, škotski ekonomist i filozof 18. stoljeća. Nakon odbacivanja manufakturne organizacije rada po kojoj svaki radnik obavlja sve pojedine operacije proizvodnje pojedinog proizvoda, predlaže princip podjele rada. Princip predviđa podjelu rada na manje i jednostavnije operacije, koje izvršava radnik specijaliziran samo za tu operaciju. Time je došlo do povećanja vještine svakog radnika za određenu operaciju, uštede vremena pri prelasku s jedne na drugu operaciju i do mogućnosti uvođenja strojeva. Sve to rezultiralo je velikim povećanjem produktivnosti proizvodnje. Princip podjele rada dodatno su razvili pioniri masovne proizvodnje: Henry Ford u procesu proizvodnje i Alfred Sloan u organizaciju uprave.

Masovna proizvodnja temeljena na principima podjele rada doživjela je veliki zamah nakon Drugog svjetskog rata. Budući da je postojala velika potražnja uzrokovana velikom ekonomskom krizom i ratnim razaranjima, masovna proizvodnja je bila pravo rješenje. Kupac tada nije imao aktivnu ulogu kao danas kada su njegovi zahtjevi u fokusu poslovnih politika, već je bilo ključno povećati proizvodnje kapacitete kako bi se tržištu ponudile dovoljne količine proizvoda. To doba karakteriziralo je dodatno pojednostavljenje pojedinih proizvodnih operacija, povećanje efikasnosti, povećanje proizvodnih kapaciteta, ekonomija razmjera (volumena), piramidalna struktura organizacije. Međutim, početkom 90-tih godina pojavljuje se novi način razmišljanja i osmišljavanja poslovnih procesa. Nove ideje uključuju odbacivanje uobičajenih i etabliranih organizacijskih struktura, kritiku podjele rada Adam Smitha da je

neprimjenjiva u modernim poslovnim procesima, te stavljanje procesa u fokus na način da tvrtke organiziraju posao oko procesa.

Reinženjering poslovnih procesa pojavio se 90-tih godina prošloga stoljeća u SAD-u, kao izravan odgovor na prilično ozbiljne i dramatične promjene u poslovnom okruženju. Taj odgovor je uključivao pronalazak efikasnih načina povećanja konkurentske moći na način da se primjene radikalne mjere u svim segmentima poslovnog procesa.

Michael Hammer, bivši profesor informatičkih znanosti na MIT-u (Massachusetts Institute of Technology), objavio je 1990. godine u časopisu Harvard Business Review članak „Reinženjerski posao: Ne automatizirajte, uništite (eliminirajte)“. U članku je tvrdio da je glavni izazov menadžmenta eliminacija oblika rada koji ne dodaju vrijednost, a ne korištenje tehnologije za automatiziranje takvih oblika rada. Kritika je bila prilično oštra, naime, smatrao je da najveći dio aktivnosti ne doprinosi povećanju vrijednosti za kupca, stoga, takve aktivnosti treba eliminirati a ne ubrzavati automatizacijom. Nadalje, smatrao je da tvrtke trebaju preispitati svoje mogućnosti zadovoljavanja potreba i želja kupaca.

Iste godine, Thomas H. Davenport i J. Short objavljuju u Sloan Management Review članak u kojem se analizira potreba za inovacijom procesa i radikalnim promjenama svih poslovnih procesa unutar tvrtke. Thomas H. Davenport zauzima stajalište da je osnovna razlika između Reinženjeringa poslovnih procesa i drugih metoda u tome što se reinženjering ne zadovoljava s djelomičnim rješenjima koje će donijeti 10% poboljšanja, već traži 10x nivo poboljšanja.

Nova ideja nepristranog promatranja i preoblikovanja poslovnih procesa postala je naširoko prihvaćena kao rješenje za ponovno dobivanje konkurentskih prednosti i zadovoljenje želja i potreba kupaca. Tijekom nekoliko slijedećih godina rapidno raste broj publikacija, knjiga, časopisa, te se razvijaju metode reinženjeringa od strane raznih konzultantskih kuća. Stoga, ne čudi činjenica da je 1993. godine 60% tvrtki iz grupe Fortune 500 (popis časopisa Fortune od 500 američkih najvećih tvrtki po kriteriju prihoda) tvrdilo da su inicirale ili planiraju inicirati proces reinženjeringa u svojim tvrtkama.

Nakon šest godina velike popularnosti Reinženjeringa poslovnih procesa dolazi do postupnog gubitka popularnosti. Početak pada popularnosti poklopio se s pojavom kritika pojedinih zagovornika reinženjeringa 1995. i 1996. godine. Reinženjering poslovnih procesa zadržao se u uporabi sve do današnjih dana u svom izvornom ili u ponešto ublaženom obliku Menadžmenta poslovnih procesa [7].

## 4.2 Četiri okvira Reinženjeringa poslovnih procesa

Reinženjering poslovnih procesa je određen, opisan i omeđen sa četiri ključna okvira unutar kojih se i događa proces reinženjeringa [7].

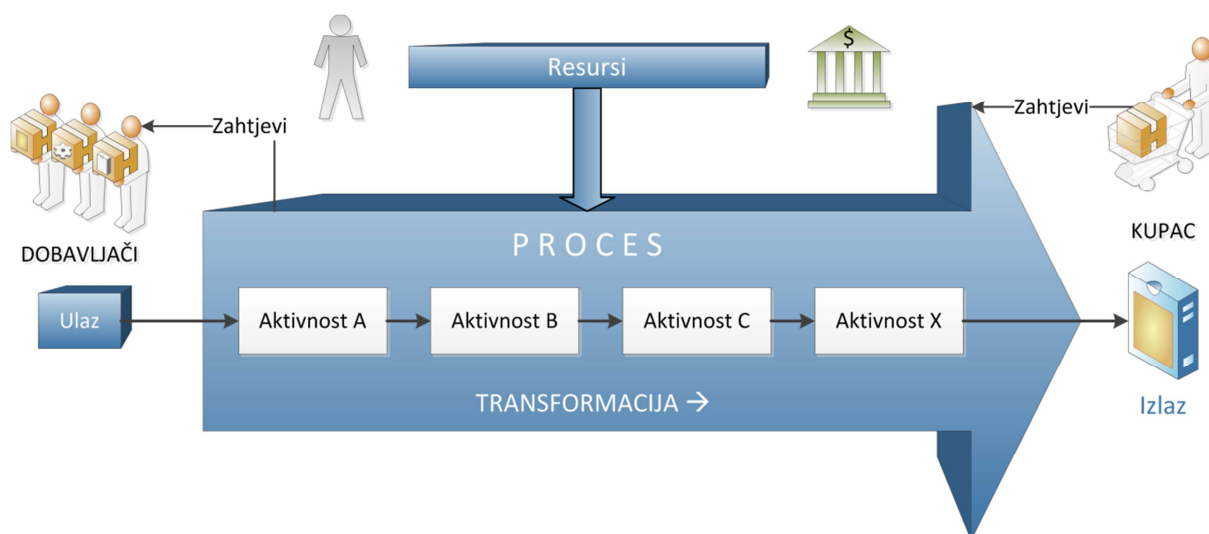
**Temeljno.** Svaki proces Reinženjeringa poslovnih procesa započinje sa propitivanjem zašto se radi ono što se radi i zašto se radi na taj način. Ta pitanja su karakteristična za procese koji počinju od početka - od tabula rasa (lat. Tabula rasa – hrv. prazna ploča, izbrisana tablica, prazan list papira). Smisao postavljanja tih pitanja je izdizanje iznad postojećeg načina razmišljanja i ograničenja koja egzistiraju uslijed iskustva svakodnevnog rada unutar postojećeg procesa.

**Radikalno.** Reinženjering polazi od stajališta da nije dovoljno unaprijediti postojeće procese, povećati efikasnost i gubitke postojećih procesa, već je potrebno korjenito i inovativno redizajnirati procese. Pri tome dolazi do odbacivanja postojećih struktura, pravila, procedura, načina rada i osmišljavanje novog procesa i novih načina za izvršenje posla.

**Dramatično.** Cilj Reinženjeringa poslovnih procesa nije unapređenje poslovanja, povećanje efikasnosti, smanjenje gubitaka, povećanje prodaje, smanjenje vremena isporuke u području od 10-tak postotaka, već promjene koje će rezultirati dramatičnim poboljšanjima funkcioniranja tvrtke. Budući da je Reinženjering poslovnih procesa prilično radikalan i dramatičan, postoji tri vrste profila tvrtki koje se odlučuju na reinženjering. Prve su tvrtke koje posluju s velikim poteškoćama, na način da značajno zaostaju za konkurencijom, stoga, nemaju drugog izbora do traženja korjenitih i dramatičnih rješenja u cilju značajnog poboljšanja poslovanja. Druga skupina su tvrtke koje nisu trenutno u poteškoćama, međutim, mogu se nazrijeti u bliskoj budućnosti, stoga, ne čekaju, već se podvrgavaju reinženjeringu prije nego što se javi potreba za istim. U treću skupinu pripadaju tvrtke koje su

vrhunske, te ne anticipiraju probleme u budućnosti, međutim, žele ostati na vrhu, pa na ambiciozan i agresivan način žele održati svoju poziciju.

**Proces.** Poslovni proces se može definirati kao skup međusobno povezanih aktivnosti koje ulaze pretvaraju u izlaze koje imaju vrijednost za klijenta, što se može vidjeti na Slika 20. To je razlog zašto je reinženjering stavio procese u svoje središte, na način da se procesi iz temelja mijenjaju, za razliku od klasičnih menadžerskih preokupacija kao što su izvršavanje zadataka, ustroj odjela, nadzor, smanjenje troškova, povećanje prodaje itd.



Slika 20. Prikaz značajki procesa

### 4.3 Uloge u Reinženjeringu poslovnih procesa

Budući da Reinženjering poslovnih procesa osmišljavaju, provode i kontroliraju ljudi, od velike je važnosti da proces podjele uloga i odgovornosti uvažava pojedinačne sposobnosti i kompetencije, položaj pojedinca unutar tvrtke, iskustvo, menadžerski potencijal i slično [7].

Bez obzira na činjenicu da među pojedinim autorima postoje, mada relativno male, razlike u definiranju naziva uloga, odgovornosti i djelokrugu aktivnosti pojedinih aktera u procesu, ipak se mogu razaznati slijedeće pozicije (uloge) koje postoje u svakom Reinženjeringu poslovnih procesa.

**Vođa.** Vođa je osoba, obično iz kruga višeg menadžmenta, koja pokreće i brine se za provođenje procesa reinženjeringa. Uobičajena je praksa da menadžment ne odabire vođu klasičnim procesima analize, usporedbe, usuglašavanja i dogovora, već se budući vođa mora sam prepoznati kao osoba koja je sposobna predvoditi promjene. To podrazumijeva da vođa mora biti vizionar, tj. osoba koja je u stanju oblikovati i provesti ideje koje će iz temelja promijeniti tvrtku. Uz vizionarstvo, veoma je važno da je vođa i odličan motivator koji svojim suradnicima usađuje osjećaj svrhe i važnosti procesa reinženjeringa, što se direktno i snažno reflektira na postignute rezultate. Nadalje, regrutira buduće vlasnike procesa iz menadžmenta, te im postavlja nove standarde koji trebaju biti postignuti provođenjem reinženjeringa.

**Vlasnik procesa.** Vlasnik procesa je menadžer više razine koji je zadužen za reinženjering tog procesa. Nužno je da odlično poznaje proces u detalje, da je priznati stručnjak, te da je utjecajan unutar tvrtke. Sam vlasnik procesa nema ulogu provođenja reinženjeringa, već je njegova uloga osiguranje provođenja. To znači da treba okupiti radnu grupu, osigurati joj sve potrebne resurse za rad, služiti kao štit od raznih pritisaka i otpora unutar tvrtke, dakle, osigurati uvjete za nesmetani rad grupe.

**Radna grupa za reinženjering.** Radna grupa je skupina ljudi koja dizajnira i provodi reinženjering određenog procesa. Uobičajena je praksa da se jedna radna grupa bavi samo jednim procesom, tako da u slučaju reinženjeringa više procesa unutar iste tvrtke postoji isto toliko radnih grupa. Broj članova u pravilu varira od 5 do 10. Postoje dvije vrste članova: interni i eksterni članovi. Interni članovi rade unutar procesa koji je podvrgnut reinženjeringu, stoga, detaljno su upoznati s procesom, načinom odvijanja, vrlinama i manama procesa. Međutim, upravo zbog svakodnevnog rada u procesu, interni članovi nisu u stanju izdići se iznad svega što su do sada naučili, odbaciti ograničenja i promatrati proces iz sasvim novog kuta. To su razlozi zašto se od njih ne očekuje osmišljavanje drastičnih i radikalnih ideja reinženjering. S druge strane, eksterni članovi ne rade unutar procesa nad kojim se provodi reinženjering, stoga, nisu ograničeni iskustvima rada u dosadašnjem procesu. Može se reći da su nositelji inovacija, novoga načina razmišljanja, te da konstantno dovode u sumnju ispravnost postojećih zakonitosti procesa. Sraz internih i eksternih članova, tj. sraz znanja i iskustva s inovacijom i novim načinom razmišljanja rezultirati će radikalnim idejama kako oblikovati budući proces.

**Upravljački odbor.** Upravljački odbor je prilično kontroverzan element strukture reinženjeringa, na način da je od velikog broja autora osporavan kao nepotreban. Međutim, jednako tako, veliki broj autora smatra da je neophodan i važan. Odbor se bavi problemima koji nadilaze domet pojedinih procesa, odnosno radnih skupina, stoga, odbor uobičajeno okuplja sve vlasnike procesa i viši menadžment.

**Reinženjerski car.** Budući da se vlasnici procesa, kao i pripadajuće radne skupine, bave pojedinačnim procesom javlja se potreba za članom koji će upravljati cjelokupnim reinženjerskim aktivnostima. Reinženjerski car, stoga, mora odlično poznavati metodologiju Reinženjeringa poslovnih procesa i primjenu specifičnih tehnika i alata. Njegove funkcije su slijedeće: podržava, pomaže svakog vlasnika pojedinačnog procesa i pripadajuću radnu skupinu, koordinira sve tekuće reinženjerske aktivnosti, podnosi izvješća vođi i sl.

#### 4.4 Informacijske tehnologije u Reinženjeringu poslovnih procesa

Informacijske tehnologije su od velike važnosti prilikom kreiranja i funkcioniranja svakoga poslovnog procesa. Dapače, u pravilu su i neophodne pri provođenju Reinženjeringa poslovnih procesa. Primjena računala i telekomunikacijske opreme za pohranu, dobavu, prijenos i manipulaciju podataka nepovratno je promijenila poslovne procese, omogućujući nove oblike rada i povezanosti unutar i izvan matične tvrtke [7].

Od samog početka, Reinženjering poslovnih procesa služio se informacijskom tehnologijom. Tehnologija dopušta redizajniranje procesa koji su suština reinženjeringa, što dovodi do simbiotskog odnosa tako da informatička tehnologija bez reinženjeringa daje slabije rezultate, i obrnuto, reinženjering bez informacijskih tehnologija ne ispunjava svoju svrhu. Međutim, bez obzira koliko bila važna i neophodna informacijska tehnologija ona je ipak sredstvo, nije cilj. Procese koji nisu pravilno oblikovani, koji ne stvaraju vrijednost za kupca, moguće je ubrzati, automatizirati uporabom informacijske tehnologije, ali to nije reinženjering, niti će time biti dosegnuti ciljevi reinženjeringa.

Najvažnija područja informacijske tehnologije koja se naširoko koristi u Reinženjeringu poslovnih procesa su:



**Baze podataka.** Baze podataka je uređena grupa podataka pohranjena na sustavan način tako da računalni program može pristupiti potrebnim podacima. U početku razvoja baza podataka informacija se mogla istovremeno pojaviti samo na jednom mjestu. Daljnjim razvojem stvorene su zajedničke baze podataka, koje je karakterizirala mogućnost pojave tražene informacije na više mjesta istodobno, ovisno o potrebama. Time je omogućen paralelni rad nad istim objektom, što je značajno ubrzalo poslovne procese.

**Ekspertni sustavi.** Ekspertni sustavi su programi koji su projektirani tako da svojim modelom oponašaju sposobnosti rješavanja problema na način kako bi ga riješio čovjek, stručnjak u određenom području. Koriste se znanjem i zaključivanjem u procesu rješavanja problema za čije je rješavanje potreban visok stupanj stručnosti i iskustva iz predmetnog područja. Naziv potječe od činjenice da se programi ponašaju kao stručnjaci, te da modeliraju one elemente čovjekovog rješavanja problema koji se smatraju elementima ljudske inteligencije: zaključivanje, prosuđivanje, odlučivanje, objašnjavanje kako su došli do zaključka itd. Primjena ekspertnih sustava je omogućila da ljudi koji nisu stručni mogu donositi stručne odluke, povećala je pouzdanost donošenja ispravne odluke, donošenje gotovo trenutne odluke, odluke u hitnim i kritičnim situacijama itd.

**Poslovni informacijski sustavi za upravljanje resursima.** Enterprise resource planning (skraćenica ERP; hrv. Planiranje resursima tvrtke) je naziv za poslovni softver koji integrira aktivnosti svih odjela tvrtke kako što su: planiranje proizvodnje, nabavka dijelova, upravljanje zalihama, održavanje, veleprodaja i distribucija, računovodstvo, ljudski resursi itd. Prednosti upotrebe informacijskih sustava su brojne: upravljanje procesima, brže izvršavanje poslovnih strategija, brže donošenje odluka, povećanje produktivnosti i učinkovitosti, prilagodljivost poslovnim promjenama, efikasnije financijsko i korporativno upravljanje, povećanje produktivnosti zaposlenika, optimiranje IT troškova itd.

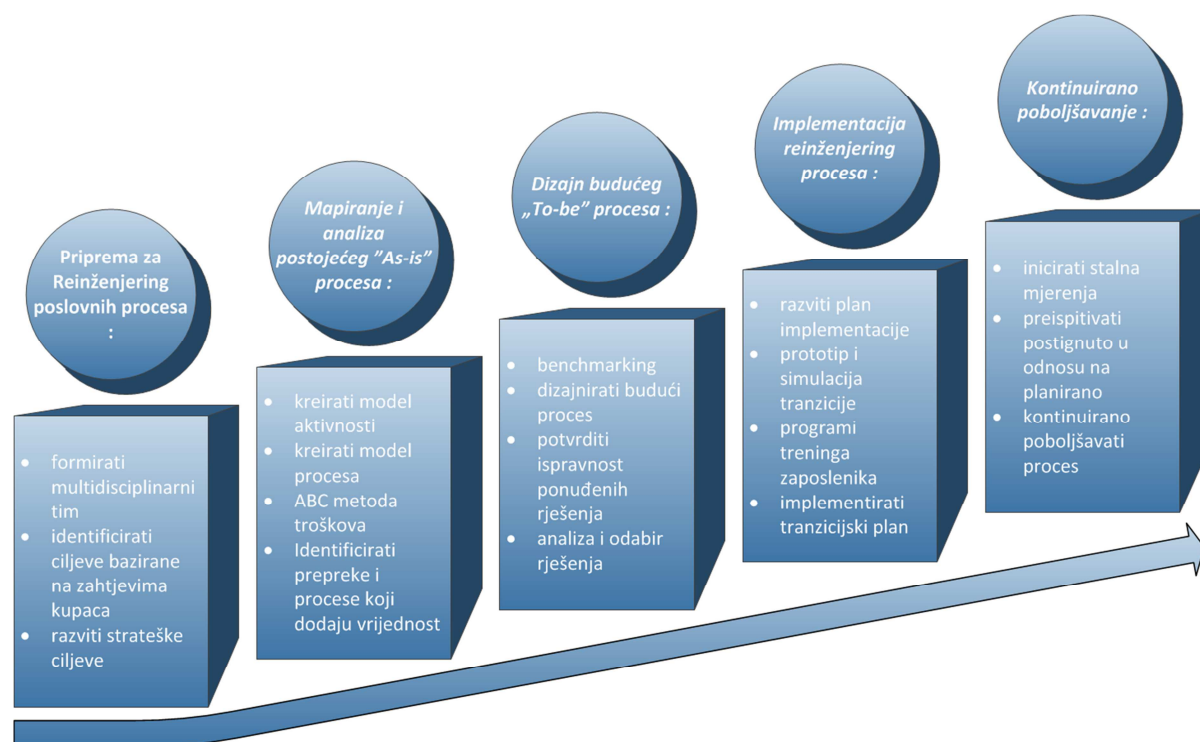
**Telekomunikacijske tehnologije.** Telekomunikacijske tehnologije su nesumnjivo nepovratno promijenile kako svakodnevni život tako i poslovne procese, omogućujući prijenos raznih informacija (govora, teksta, slika, zvuka, računalnih podataka, videa) u sve dijelove zemaljske kugle. Komunikacijske tehnologije su u velikoj mjeri povezane s informacijskom tehnologijom, gotovo do razine simbiotskog odnosa, stoga se često govori o informacijskim i telekomunikacijskim tehnologijama (ICT).

Primjena telekomunikacijskih tehnologija je gotovo bezgranična. Internet, e-mail, video konferencija, on-line upravljanje i kontrola, mobilne tehnologije prijenosa glasa, podataka, GPS (eng. Global positioning system, hrv. Globalni sustav za pozicioniranje), satelitske tehnologije za prijenos tv signala, radija, glasa, podataka, optičke mreže...

#### 4.5 Metodologija Reinženjeringa poslovnih procesa

Reinženjering poslovnih procesa je nastao i razvijao se isto tako dramatično i snažno kao što je sama suština reinženjeringa. Treba ponovo imati na umu da je ideja reinženjeringa uobličena 1990. godine člankom Michael Hammera u časopisu Harvard Business Review pod nazivom „Reinženjerski posao: Ne automatizirajte, uništite (eliminirajte)“. S druge strane, već 1993. godine 60% tvrtki iz grupe Fortune 500 (popis časopisa Fortune od 500 američkih najvećih tvrtki po kriteriju prihoda) tvrdilo da su inicirale ili planiraju inicirati proces reinženjeringa u svojim tvrtkama. Dakle, može se s punim pravom ocijeniti da je razvoj Reinženjeringa bio izrazito dinamičan. To je imalo za posljedicu da nije nastao konsenzus o standardnoj metodologiji provođenja Reinženjeringa, stoga pojedine konzultantske kuće i stručnjaci razvijaju svoje metodologije primjene. Tako nastaju metodologije pojedinih stručnjaka Reinženjeringa kao što su: Underdown D. R., Harrison Brian D., Furey Timothy R., Mayer Richard.J., Manganelli Raymond L. itd.

Skupina profesora s katedre Industrijskog inženjerstva sveučilišta u Wichiti, Kansas, SAD objavili su 1999. godine na međunarodnoj konferenciji Industrijskog inženjerstva u San Antoniju, Texas, konsolidiranu metodologiju Reinženjeringa poslovnih procesa. Metodologija je nastala na temelju pet različitih metodologija spomenutih stručnjaka Reinženjeringa, te sadrži ključne odrednice svake pojedine metodologije [13]. Struktura koraka spomenute metodologije prikazana je na Slika 21.



Slika 21. Konsolidirana metoda reinženjeringa [13]

Konsolidirana metodologija Reinženjeringa poslovnih procesa sastoji se od 5 faza kako slijedi:

**Priprema za Reinženjering poslovnih procesa.** Planiranje i priprema ključan je i neophodan dio svakoga procesa, stoga, razumno je u ovoj etapi postaviti pitanje je li provođenje Reinženjeringa nužno. Nadalje, ukoliko je provođenje nužno, potrebno je uspostaviti konsenzus o važnosti provođenja Reinženjeringa i povezati željene poslovne rezultate sa projektima Reinženjeringa. Potrebno je okupiti multidisciplinarni tim, te osigurati nesmetano odvijanje svakodnevnih poslovnih procesa u kojima sudjeluju članovi tima. Strateški ciljevi Reinženjeringa moraju u potpunosti akceptirati želje, zahtjeve i očekivanja kupaca. Na temelju tako definiranih ciljeva sastavlja se izjava o viziji, koja sadrži što tvrtka želi postići reinženjeringom.

**Mapiranje i analiza postojećeg „As-is“ procesa.** Budući da reinženjering tim ima zadatak oblikovanja novog procesa, članovi tima trebaju biti upoznati s postojećim poslovnim procesima i načinima na koji se odvijaju. Iako pojedini stručnjaci zastupaju stajalište da analiza postojećeg stanja procesa bitno smanjuje kreativnost sudionika, većina ipak smatra da su pozitivne strane u velikoj mjeri značajnije i brojnije. Glavni je cilj ove etape: točno identificirati sve prepreke (smetnje) koje stoje na putu

ostvarenja novog procesa i nesmetanog protoka informacija unutar i izvan tvrtke. Nadalje, potrebno je identificirati koji procesi dodaju vrijednost. Prepreke (smetnje) u procesima i procesi koji dodaju vrijednost postaju vidljivi prilikom izrade modela aktivnosti i modela procesa postojećeg stanja. Prilikom mapiranja postojećeg stanja procesa mjeri se vrijeme odvijanja svake aktivnosti, kao i trošak aktivnosti primjenom ABC metode alociranja troškova. Nakon dovršetka mape procesa vrši se analiza u cilju identificiranja procesa kojima je potreban reinženjering.

**Dizajn budućeg „To-be“ procesa.** Faza dizajniranja budućeg procesa mora rezultirati jednom ili više opcija postojećeg procesa, uz uvjet da su rješenja u potpunom suglasju sa prihvaćenim strateškim ciljevima iz prve faze reinženjeringa. Vrš se, zatim, benchmarking kojim se uspoređuju karakteristike pojedinih procesa i način na koji se proces odvija sa procesima u oglednim tvrtkama. Iz procesa usporedbe uobičajeno proizlaze inovativna rješenja, na temelju kojih se razvija model budućeg „To-be“ procesa. Analizira se učinkovitost svake varijante predloženog rješenja simuliranjem vremena odvijanja aktivnosti sa pripadajućim troškovima. Postupkom iteracije dolazi se do završnih rješenja, vrednuju se, potvrđuju se, te se odabiru ona koja će biti implementirana.

**Implementacija procesa Reinženjeringa.** Faza implementacije procesa Reinženjeringa je uvjerljivo najzahtjevnija faza zbog pojave izraženog otpora zaposlenika drastičnim promjenama koje reinženjering donosi. Otpor zaposlenika može se kretati od pasivnosti i nezainteresiranosti do otvorenog neprijateljskog ponašanja, stoga, od velike je važnosti objasniti svim zaposlenicima povezanih s reinženjeringom smisao i ciljeve koje novi proces treba ispuniti. Slijedi izrada plana tranzicije od postojećeg „As-is“ do budućeg „To-be“ redizajniranog procesa pridružujući time organizacijske strukture, informacijske sustave, poslovne politike i procedure novom procesu. Budući da je projekt implementacije relativno složen, uobičajeno se upotrebljavaju alati za strukturiranu raspodjelu poslova WBS (eng. Work breakdown structure – hrv. Struktura podjele posla). Uporabom WBS-a moguće je podijeliti posao u manje zadatke poštujući pritom hijerarhijsku razinu, isporuke (okončani zadaci) i vremenski okvir. Nadalje slijedi oblikovanje prototipa i provođenje simulacija, te ukoliko pilot projekt ispuni očekivanja, plan tranzicije se potvrđuje. Zadnji korak prije konačne implementacije je edukacija i trening zaposlenika.

**Kontinuirano unapređenje.** Iako možda naizgled kontradiktorno, Reinženjering poslovnih procesa uvažava važnost kontinuiranog unapređenja procesa nakon provedenog reinženjeringa. Treba se uspostaviti nadgledanje i vrednovanje uspješnosti aktivnosti kao što su informiranost zaposlenika, predanost menadžmenta novom procesu, te vrednovanje postignutih rezultata na način da se ispituje percepcija kupaca. Nužna je stalna i kontinuirana usporedba postignutih rezultata sa planiranim rezultatima, te provođenje mjera stalnog poboljšanja.

#### 4.6 Primjena Reinženjeringa poslovnih procesa

Reinženjering poslovnih procesa ne bavi se promjenama u organizaciji, odjelima, već se bavi procesima. Prije je spomenuto da se procese može definirati kao skup međusobno povezanih aktivnosti koje ulaze pretvaraju u izlaze koji imaju vrijednost za klijenta. Dakle, može se zaključiti da proces nije univerzalna veličina, već da svaka tvrtka, ovisno o svome shvaćanju, sama postavlja granice procesa. Stoga, proces može biti bilo što:

- komunikacija s kupcima,
- razvoj strategije,
- razvoj proizvoda,
- ispunjavanje narudžbi,
- podrška klijentima.

U dosadašnjim razmatranjima proces proizvodnje nije bio zastupljen, stoga, logično je postaviti pitanje je li moguće napraviti reinženjering procesa proizvodnje. Moguće je, bez obzira na to što je reinženjering od svog nastanka u osnovi namijenjen poslovnim procesima poput prodaje, marketinga, ispunjavanja narudžbe, nabave, podrške klijentima i sl. Takvu ocjenu moguće je potkrijepiti oglednim primjerima Reinženjeringa poslovnih procesa od strane tvoraca M. Hammer i J. Champy koji navode brojne ugledne tvrtke koje su se podvrgle procesu reinženjeringa. Iako neke od tih tvrtki imaju snažne proizvodne procese, oni ipak nisu u fokusu aktivnosti. Tako

Texas Instruments, čuveni proizvođač integralnih sklopova, u procesu reinženjeringa proizvodnju definira samo kao jedan od potprocesa u procesu ispunjavanja narudžbi.

Ograničenost reinženjeringa proizvodnih procesa proizlazi iz činjenice da je ponekad gotovo nemoguće ponovno temeljito, radikalno i dramatično, oblikovati proizvodni proces, jer se takav proces, uz organizaciju rada, mora pokoravati i zakonima prirode, fizike, mehanike, ograničenjima tehnologije. S druge strane, poslovni procesi su primarno procesi organizacije rada, hijerarhijskih međuovisnosti, tokova informacija, postavljenih procedura, dakle, stvoreni su odlukama menadžmenta, stoga, puno ih je lakše temeljito, radikalno i dramatično iznova oblikovati.

Primjena Reinženjeringa poslovnih (proizvodnih) procesa daje najbolje rezultate u projektnim tipovima proizvodnje, kao što je npr. proizvodnja brodova, specijalnih transformatora, specijalnih dizalica. To je zbog toga jer je veliki utjecaj organizacije rada, postoji veliki broj radnih stanica kojima proizvod mora proći, veliki je odnos vodećeg i procesnog vremena, dakle, postoji puno čekanja itd. Budući da je riječ o komadnoj proizvodnji po narudžbi, odvijanje procesa u više odjela (zaprimanje narudžbe, izdavanje naloga, projektiranje, odabir dobavljača, nabava itd.) determinira ukupno vrijeme proizvodnje (vodeće vrijeme), zbog čega je takav proces pogodan za reinženjering.

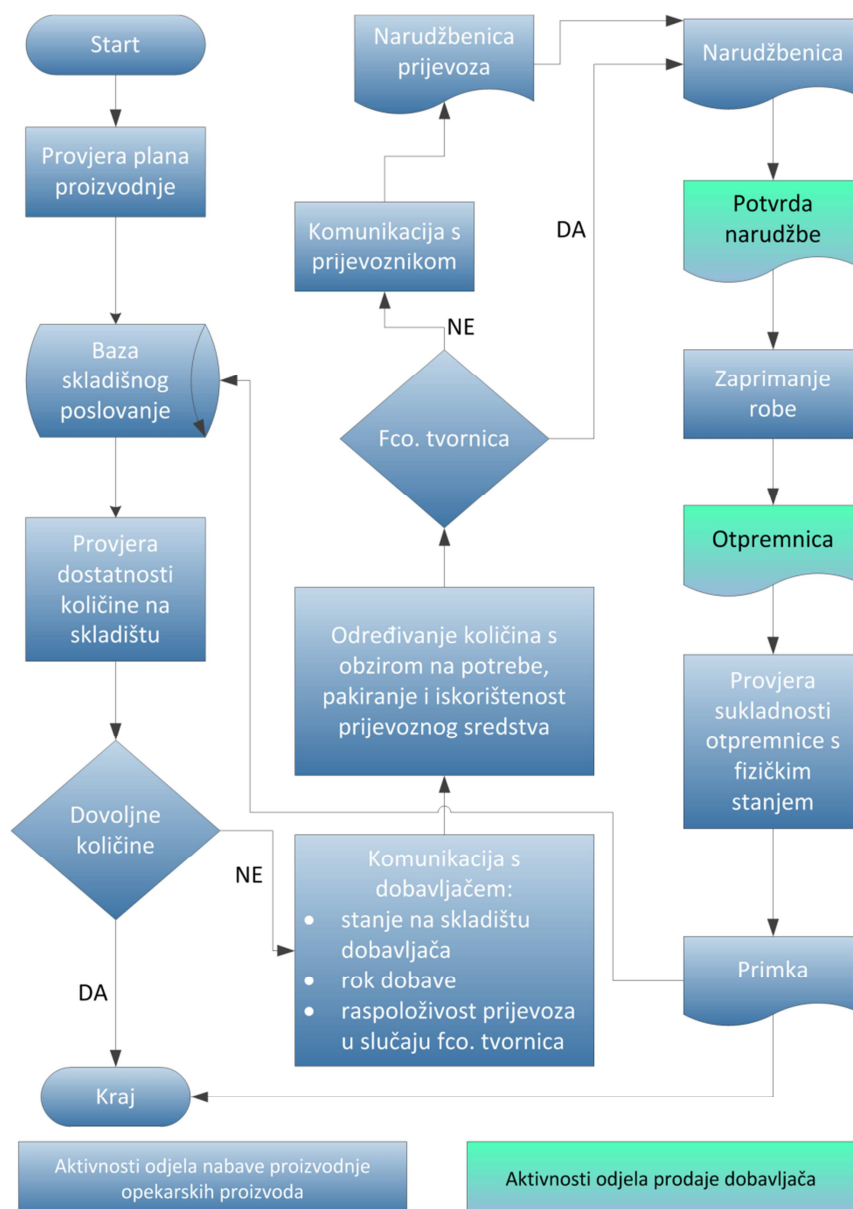
Primjena Reinženjeringa poslovnih procesa u velikoserijskim i procesnim proizvodnim procesima moguća je isključivo u potpornim procesima. Glavni proces je zadan tehnologijom i tu praktično ne postoji mogućnost reinženjeringa unutar određene tvrtke, već je reinženjering uvjetovan otkrićem novih spoznaja u razvojnim i istraživačkim centrima.

Ako se analizira povijesni razvoj proizvodnje opekarskih proizvoda u cilju propitivanja mogućnosti reinženjeringa glavnog procesa, doći će se do zaključka da se proces proizvodnje opekarskih proizvoda nije suštinski promijenio od svojih početaka. Miješanje i mljevenje jedne ili više vrsta sirovine više se ne odvija ručno, već pomoću strojeva. Oblikovanje opekarskih proizvoda se vrši ekstruzijom ili kalupljenjem, na istim principima kao i prije. Sušenje se više ne odvija prirodnim sušenjem na zraku, već u sušarama, međutim, sam proces je suštinski nepromijenjen. Pečenje se više ne odvija u komornim pećima iskopanim u zemlji, već u suvremenim tunelskim

pečima. Dakle, proizvodnja opekarskih proizvoda se promijenila uporabom strojeva umjesto ručnog rada, automatizacijom procesa, međutim, to nije reinženjering.

Ono što se može podvrgnuti reinženjeringu jesu potporni procesi u proizvodnji opekarskih proizvoda. Proces nabave sirovine, energenata, materijala za pakiranje, tehničkih materijala, rezervnih dijelova vrlo su važni za nesmetano i efikasno odvijanje cjelokupnog proizvodnog procesa.

Proces nabave materijala za pakiranje opekarskih proizvoda poput drvenih paleta, PE/PP trake i termo-skupljajuće PE folije moguće je prikazati dijagramom toka na Slika 22. Iako naizgled jednostavne aktivnosti nabave, djelatnik tog odjela mora spretno pomiriti međusobno oprečne zahtjeve kao što tu: sigurnost opskrbe proizvodnje dovoljnim količinama materijala za pakiranje nasuprot zahtjevima za minimalnom količinom angažiranih financijskim sredstava za proizvodnju, povećanje frekvencije dobave materijala za pakiranje u cilju amortizacije promjena proizvodnih planova nasuprot maksimalnog iskorištenja prijevoznog sredstva ili minimiziranja troškova transporta itd.

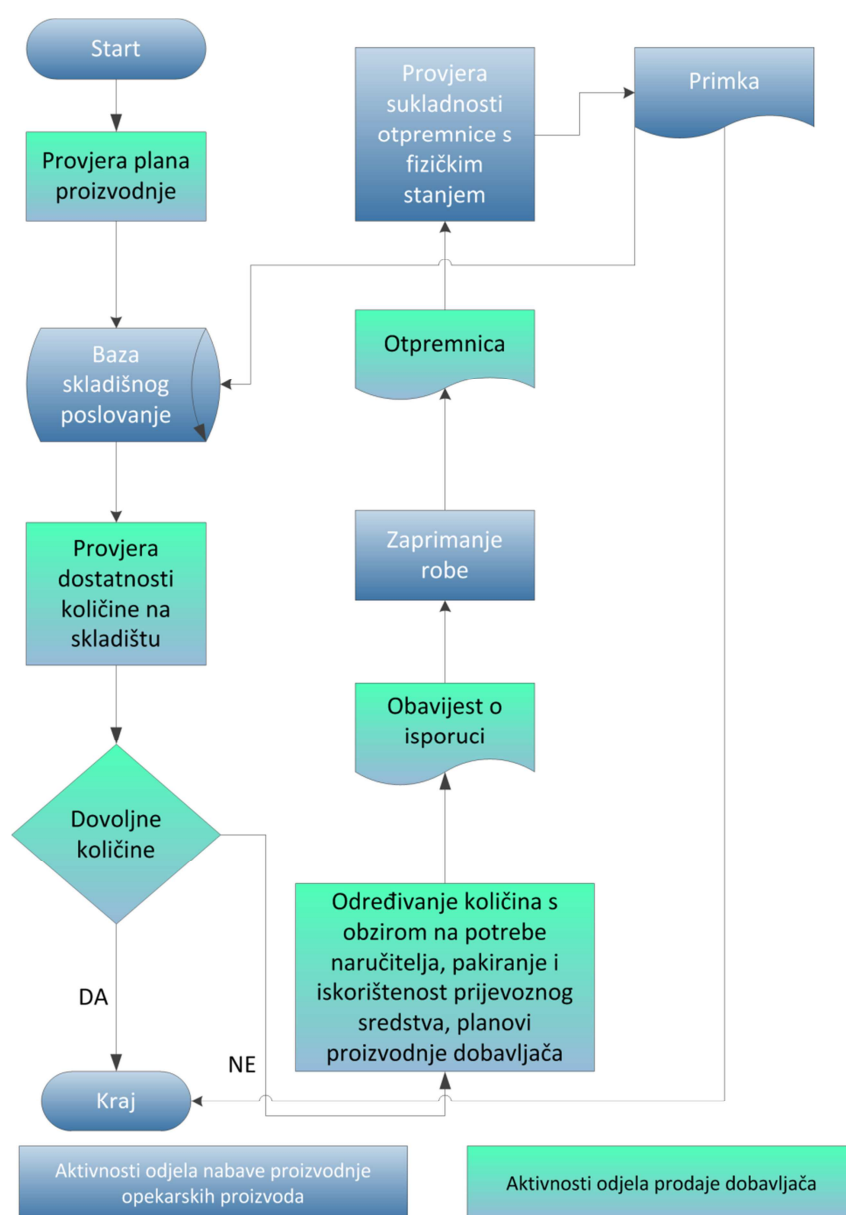


Slika 22. Dijagram toka postojećeg procesa nabave

Nužno je uskladiti učestalost narudžbi prema tome je li predmetni materijal za pakiranje prilagođen samo jednom proizvođaču (kao što je termo-skupljajuća folija jer ima na sebi tiskane natpise proizvođača opeke) ili je materijal za pakiranje univerzalne primjene kao što su trake. Zatim, slijedeći važan faktor u određivanju učestalosti narudžbi je geografska lokacija dobavljača, stupanj ovisnosti dobavljača o narudžbama predmetne tvrtke. Činjenica da različiti formati opekarskih proizvoda zahtijevaju različite veličine paleta i termo-skupljajućih folija dodatno otežava proces nabave materijala za pakiranje.



Reinženjeringom poslovnih procesa moguće je efikasno preoblikovati proces nabave, te upravljanje zalihama materijala za pakiranje, što je prikazano na Slika 23. Budući da je upravljanje zalihama, općenito govoreći, skup i složen proces, može se prenijeti na dobavljače ukoliko posjeduju tehničke i personalne kapacitete, te ukoliko postoji zajednički interes. Pri tome je bitno istaknuti da mora postojati duboko povjerenje između tvrtki i uvjerenje da je dobavljač u stanju preuzeti na sebe sve aktivnosti koje su predviđene. Naravno, uvijek je uputno započeti primjenu s nekom vrstom prelaznog stanja u kojem će stručnjaci obje tvrtke zajedno procjenjivati pojedine zahvate u cilju osiguranja zaštite interesa obiju tvrtki.



**Slika 23. Dijagram toka budućeg procesa nabave**

Interes proizvođača opekarskih proizvoda za prijenos upravljanja skladištem materijala za pakiranje je prilično jasan. Naime, smanjuju se troškovi upravljanja zalihama, oslobođen ljudski potencijal može se usmjeriti u druge procese, sustav postaje efikasniji i sl.

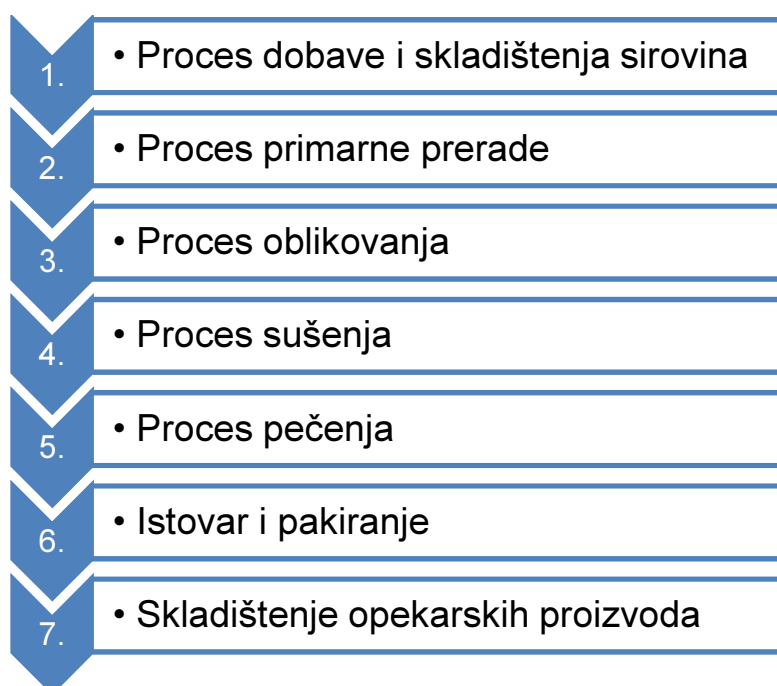
S druge strane, interes tvrtke dobavljača možda nije tako jasan. Dobavljač, budući da ima uvid u plan proizvodnje opekarskih proizvoda, može prilagoditi planove svoje proizvodnje s tom činjenicom. To može rezultirati znatnim uštedama u proizvodnom procesu dobavljača jer dobro planiranje proizvodnje sa optimalnim veličinama serije, bez udara koje u pravilu donose česte promjene proizvoda, rezultira sa značajnim padom proizvodnih troškova. Nadalje, potencijal povećanja efikasnosti raste ukoliko dobavljač proizvodi materijal za pakiranje koji je prilagođen samo jednom proizvođaču opekarskih proizvoda, kao što je npr. termo-skupljajuća folija sa natpisima.

Budući da obje tvrtke imaju koristi u novom procesu nabave koji je preoblikovan reinženjeringom, ostaje dogovoriti mjere osiguranja od prevelikih količina materijala za pakiranje na skladištu. Takve mjere zaštite mogu biti maksimalne količine zalihe, maksimalna vrijednost zalihe, maksimalno vrijeme skladištenja, konsignacija itd.

Ovakav proces nabave i upravljanja zalihama može se primijeniti u cijelom nizu različitih procesa nabave, naravno, ukoliko partneri imaju tehničke i personalne kapacitete, te ukoliko postoji zajednički interes. Posebice je zanimljiva mogućnost primjene u procesima nabave energije. Energetske tvrtke zakupljuju kapacitete (protok prirodnog plina, snaga električne energije), čije troškove devijacija direktno prebacuju na kupca u obliku penala za preveliko odstupanje od nominacije. Budući da posjeduju potrebne tehničke resurse (npr. daljinsko očitavanje mjerila), iskustvo i znanje, mogu ponuditi industrijskim kupcima uslugu vlastitog nominiranja energije, kojim će ostvariti dodatni prihod uz smanjenje izloženosti industrijskih kupaca neodgovarajućem nominiranju.

## 5. PRIKAZ PROCESA PROIZVODNJE OPEKARSKIH PROIZVODA

Proces proizvodnje opekarskih proizvoda kontinuirana je vrsta proizvodnog procesa koju odlikuje visoka razina volumena proizvodnje, visoko standardiziran proizvod, visokospecijalizirana oprema za proizvodnju, visoki troškovi proizvodnje i zastoja, te kontinuiranost proizvodnje 24 sata dnevno i 365 dana u godini. Takva vrsta proizvodnje je poprilično zahtjevna po pitanju upravljanja proizvodnjom, procesom održavanja, optimizacije, tj. bilo kakvog zahvata u proizvodni proces, jer proizvod se neprestano transformira putujući kroz različite proizvodne procese, između kojih ima relativno mala mogućnost akumulacije. Stoga, može se zaključiti da zahvati u proizvodni proces često rezultiraju zastojem pojedinog procesa, te time i cjelokupne proizvodnje linije. Proces proizvodnje opekarskih proizvoda se može raščlaniti na slijedeće procese, što je prikazano na Slika 24.:



Slika 24. Prikaz procesa proizvodnje opekarskih proizvoda

## 5.1 Proces dobave i skladištenja sirovina

Prikazani proces, u užem smislu, nije dio samog procesa proizvodnje opekarskih proizvoda, jer se odvija van proizvodne linije, ali je jako važan dio ukupnog tehničkog i poslovnog procesa. Eksploatacija mineralnih sirovina (glina, pijesak), nabava piljevine i materijala za paletiziranje i pakiranje, te ispravno skladištenje istih je bitan preduvjet za kvalitetnu proizvodnju opekarskih proizvoda. Eksploatacijom mineralnih sirovina se bave diplomirani inženjeri rudarstva, dok se nabavkom materijala za paletiziranje i pakiranje (trgovačka roba) bave stručnjaci ekonomskog profila.

### Dobava i skladištenje gline

Eksploatacija i skladištenje gline je najvažniji dio procesa dobave i skladištenja sirovine, te stoga često stručnjaci u opekarskoj industriji ističu da proizvodnja opeke počinje na gliništu. Proces vodi diplomirani inženjer rudarstva, zaposlenik ciglane: upravlja radovima na glinokopu, određuje način i dinamiku iskopa, usuglašava sve aktivnosti sa glavnim rudarskim projektom, vrijeme i dinamiku transporta, način i parametre skladištenja gline (parametri halde<sup>1</sup>). S druge strane, sve radove (iskop, transport, deponiranje) uobičajeno je da obavlja odabrani kooperant. Uvjet za eksploataciju gline je dobivanje cijelog niza dozvola i suglasnosti od različitih državnih institucija:

- suglasnost za istražne bušotine,
- izrada idejnog projekta,
- izrada studije utjecaja zahvata na okoliš,
- suglasnost Uprave za zaštitu prirode,
- ishođenje lokacijske dozvole,
- izrada glavnog rudarskog projekta,

---

<sup>1</sup> Deponija gline ili „brdo“ nastalo skladištenjem gline na otvorenom

- ishođenje potvrde glavnog rudarskog projekta,
- određivanje eksploatacijskog polja,
- utvrđivanje rezervi,
- ishođenje koncesije za eksploataciju mineralnih sirovina.

Sam iskop, u skladu s potvrđenim rudarskim projektom, uobičajeno je da obavlja kooperant uz pomoć teške mehanizacije (rovokopač i buldožer). Iskop se obavlja obično od travnja do rujna zbog najpovoljnijih atmosferskih prilika. Za cijelo vrijeme iskopa potrebno je crpiti vodu iz gliništa te je odvoditi dalje kanalima. Dubina iskopa, ovisno o debljini sloja gline je 10-15 metara, te se iskop obavlja u etažama u visini pojedine etaže 4-5 metara, sukladno tehničkim mogućnostima teške mehanizacije. Iskopana glina se kamionima transportira u krug tvornice, te se istovaruje na prethodno pripremljenu tvrdu podlogu, te time počinje proces formiranja deponije gline (halde).

Glina se razvlači buldožerom unutar zadanih gabarita i komprimira u slojevima od 50 cm. Pri tomu je bitan zahtjev da pojedinačni sloj na deponiji (haldi) mora biti homogen, tj. mora biti napravljen s glinom iste etaže na glinokopu jer se sastav gline, granulometrija i fizikalna svojstva gline na glinokopu mijenja ovisno o dubini iskopa. Nadalje, također je bitno svaki pojedinačni sloj dobro komprimirati s buldožerom i kamionima, jer je potrebno spriječiti prodor vode u samu deponiju zbog tehnoloških zahtjeva same proizvodnje, imajući u vidu da deponija nije u zatvorenom prostoru, te je time izložena utjecaju atmosferskih prilika.

Veličina deponije mjeri se nakon završetka njenog formiranja u zbijenom stanju od strane ovlaštenog geodeta, a obično se kreće 80 000 – 120 000 m<sup>3</sup>. Nakon utvrđivanja veličine deponije, predaje se proizvodnji u cilju eksploatacije i uporabe u proizvodnom procesu. Izgled deponije prikazan je na Slika **25**.



**Slika 25. Deponija gline ili halda**

### **Dobava i skladištenje pijeska**

Eksploatacija i skladištenje pijeska je proces vrlo sličan procesu eksploatacije i skladištenja gline. Međutim, proces je jednostavniji i manje zahtjevan. Uvjet za eksploataciju pijeska, slično kao i u slučaju eksploatacije gline, dobivanje je cijelog niza dozvola i suglasnosti od nadležnih tijela:

- suglasnost za istražne bušotine,
- izrada idejnog projekta,
- izrada studije utjecaja zahvata na okoliš,
- suglasnost Uprave za zaštitu prirode,
- ishođenje lokacijske dozvole,
- izrada glavnog rudarskog projekta,
- ishođenje potvrde glavnog rudarskog projekta,
- određivanje eksploatacijskog polja,
- utvrđivanje rezervi,
- ishođenje koncesije za eksploataciju mineralnih sirovina.

Sam iskop pijeska na pjeskokopu je manje zahtjevan, jer se karakteristike pijeska ne mijenjaju ovisno o dubini iskopa. Nadalje, pijesak je moguće iskapati tijekom cijele

godine, tako da je deponija unutar kruga tvornice relativno mala u odnosu na deponiju gline, te je natkrivena za razliku od deponije gline. Sve etape procesa eksploatacije i skladištenja pijeska (iskop, transport, istovar) uobičajeno obavlja kooperant uz nadzor diplomiranog inženjera rudarstva, zaposlenika ciglane.

### **Dobava i skladištenje piljevine**

Za dobavu i skladištenje piljevine zadužen je služba nabave. Uobičajeno je da postoje nekoliko dobavljača koji kontinuirano opskrbljuju ciglanu s piljevinom. Razlog tomu je veliki broj i prostorna rastrkanost pilana, kojima je piljevina nusproizvod procesa, te nepostojanje distributivnih centara koji bi prikupljali i skladištili piljevinu. Zbog toga, dobavljači imaju ugovore s lokalnim pilanama te otkupljuju svu raspoloživu piljevinu, te je kontinuirano dopremaju u skladište piljevine u krug tvornice.

U novije vrijeme dolazi do značajnih poteškoća pri opskrbi piljevinom, jer je ona postala važna sirovina u industriji namještaja, te energent za loženje u obliku briketa i peleta. Piljevina se odlaže u natkrita skladišta sa prirodnom cirkulacijom zraka, te se izuzima po principu FIFO (eng. First in, first out; hrv. Prvi unutra, prvi van) zbog činjenice da je piljevina organskog porijekla, podložna raspadanju i time i stvaranju zapaljivih plinova.

### **Dobava i skladištenje paleta i materijala za pakiranje**

Za dobavu i skladištenje materijala za pakiranje (palette, trake, termoskupljajuća folija) zadužena je služba nabave. Sukladno planu proizvodnje kontinuirano se naručuju potrebni materijali, te se skladište u zatvorenim prostorima.

## 5.2 Proces primarne prerade

Funkcija primarne prerade je dobivanje mješavine sirovina za proizvodnju opekarskih proizvoda u određenim omjerima, koja mora biti dobro izmiješana, homogenizirana te samljevena. Osnovna i neophodna sirovina za proizvodnju opekarskih proizvoda je glina. Iako i danas postoje tvornice za proizvodnju opekarskih proizvoda zidnih sustava koje isključivo koriste glinu kao jedinu sirovinu za proizvodnju opeke, može se reći da je takva pojava vrlo rijetka i egzistira u relativno industrijski nerazvijenim područjima. S druge strane, uobičajena je uporaba samo gline kao jedine sirovine za proizvodnju opekarskih proizvoda u fasadnim sustavima i proizvodnji crijepa, i to zbog specifičnih zahtjeva gotovog proizvoda (niskog upijanja vode).

U proizvodnji opekarskih proizvoda zidnih sustava upotrebljavaju se razni dodaci glini u cilju optimiranja svojstva sirovine za proizvodnju opekarskih proizvoda. Najzastupljeniji dodaci su:

- pijesak,
- piljevina,
- papir faza,
- petrol koks,
- smeđi ugljen,
- kameni ugljen,
- suncokretove ljuske,
- biljni ostaci,
- stiropor.

U proizvodnji Wienerberger-Ilovac upotrebljava se smjesa gline, pijeska i piljevine. Pijesak ima ulogu osiromašjenja masnoće gline, tj. osiguranje stezanja proizvoda u procesu sušenja u intervalu 5 – 6%. Piljevina istodobno osigurava porozitet materijala pri procesu pečenja, te time i bolje izolacijska svojstva gotovog proizvoda. Nadalje, sagorijevanjem piljevine u tunelskim pećima oslobađa se toplina, te zbog toga, ima ulogu i dopunskog energenta. Piljevina je također zahvalan dodatak s aspekta



procesa sušenja opekarskih proizvoda jer svojom vlaknastom strukturom poboljšava prelazak vlage iz unutrašnjosti opeke na površinu, što pospješuje proces sušenja.

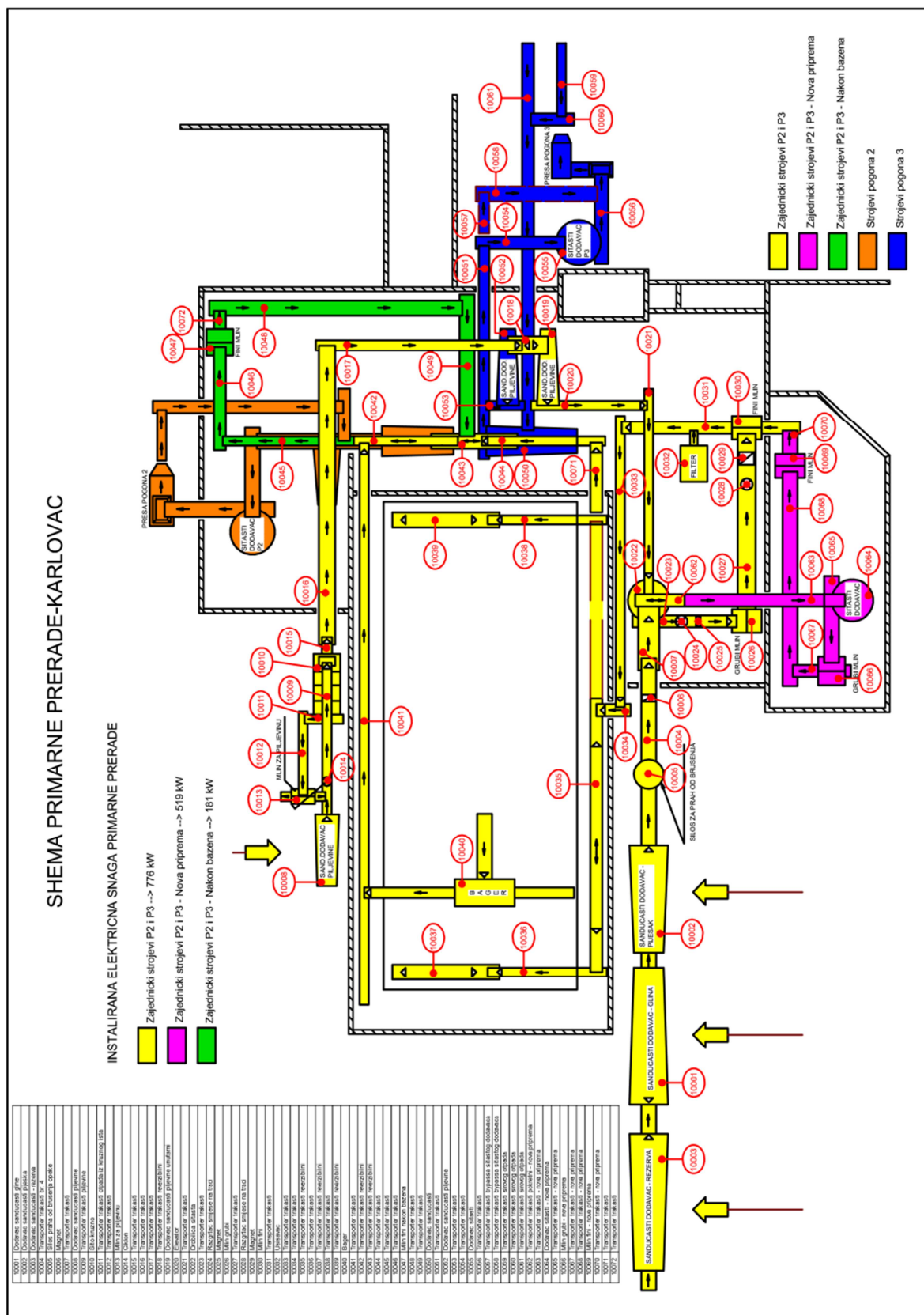
Glina, pijesak i piljevina transportira se utovarivačima sa skladišta sirovine do sandučastih dodavača sa pokretnom podnicom. Sandučasti dodavači gline i pijeska doziraju pravilne udjele pojedine sirovine na kolektorski trakasti konvejer koji završava prvim strojem za miješanje i homogeniziranje, sito-drobrilicom. U sito-drobrilicu se trakastim konvejerom također doprema i prosijana piljevina, stoga, na navedenom stroju vrši se prvo miješanje i homogeniziranje svih komponenti sirovine za proizvodnju opekarskih proizvoda. Smjesa se miješa rotacijskim rukama u cilindričnom plaštu, te papučama se istiskuje kroz perforirani segmentni plašt cilindra.

S druge strane, piljevina nakon dopreme u sandučasti dodavač sa pokretnom podnicom ulazi u liniju za obradu piljevine, prosijava se rotacijskim sitom, grublje frakcije se melju i vraćaju nazad na ponovno prosijavanje te sustavom trakastih konvejera, dodatnih sandučastih dodavača i elevatora doprema do sito-drobrilice, gdje se miješaju sve tri komponente smjese.

Takva smjesa doprema se trakastim konvejerima do grubog mlina koji melje mješavinu u listiće debljine 2 mm. Grubi mlin je u osnovi par čeličnih cilindara koji rotiraju u suprotnom smjeru i različitim brzinama. To omogućuje ulazak smjese u zazor između cilindara, mljevenje i razvlačenje smjese uslijed smicanja u konačni oblik listića. Zatim, smjesa se transportira do finog mlina, gdje se smjesa dodatno melje i razvlači na listiće debljine od 1 mm.

Sustavom trakastih konvejera smjesom se puni bazen, koji služi kao akumulacija i skladište gotove smjese za proces proizvodnje opekarskih proizvoda. Na

Slika 26. prikazan je tlocrt primarne prerade.



Slika 26. Tlocrt primarne prerade

### 5.3 Proces oblikovanja

Proces oblikovanja (sirove proizvodnje) započinje eksploatacijom skladišta (bazena) pripremljene smjese. Bitan zahtjev koji se postavlja na skladište smjese, bez obzira radi li se o nadzemnom ili podzemnom tipu skladišta (bazenu), jest nužnost sprečavanja strujanja zraka i zatamnjenje prostora u cilju sprečavanja isušivanja smjese. Taj zahtjev odnosi se i na cjelokupnu liniju oblikovanja zbog pojave da se isušeni komad smjese počesto uglavljuje u alat preše, te uzrokuje karakterističan defekt procesa oblikovanja – paranje na usniku. Stoga, nužno je osigurati da se smjesa giba kontinuirano, bez dužeg zaustavljanja i nakupljanja (ljepljenja) na pojedine elemente (npr. stranice sandučastog dodavača).

Smjesa se izuzima iz bazena bagerom kabličarom, koji ima uz primarnu funkciju izuzimanja smjese za potrebe proizvodnje i zadaću dodatnog miješanja sirovine u cilju postizanja što veće homogenosti mješavine. Dodatna zadaća miješanja ostvarena je samom konstrukcijom bagera kabličara, koji svojim lopaticama izuzima smjesu istodobno s dna i vrha bazena, uz kontinuirano posmično gibanje cijelog sustava.

Sustavom trakastih konvejera i sandučastih dodavača (doziranje i raspodjela sirovina za više proizvodnih linija), sirovina se dovodi do sitastog dodavača gdje se mješavine istiskuje papučama kroz perforirane segmentne cilindrične ploče u cilju dodatnog miješanja i homogeniziranja, te se smjesa zaparuje. Mješavina se dalje transportira sustavom trakastih konvejera do miješalice preše gdje se dodatno miješa lopaticama uz aksijalno gibanje smjese, te se pomoću dva pužna vijka istiskuje kroz homogenizacijsku rešetku u vakuum komoru preše. U vakuum komori, spojnom dijelu miješalice i preše, odstranjuje se zrak (95% vakuuma u komori) sa uljnom vakuum pumpom. Niži postotak vakuuma uzrokuje defekt sirovog proizvoda u obliku laminarnog odvajanja slojeva sirovog proizvoda.

Ulaskom smjese u vakuum komoru smjese pada u prešu, gdje je osiguran ulazak sirovine u uzubinu pužnog vijka kroz sustava tlačilica. Smjesa se nastavlja gibati aksijalno kroz pužni vijak uz sustav klinova koji osiguravaju gibanje sirovine. Smjesa se, gibajući pužnim vijkom, komprimira i zagrijava uslijed koničnog završetka cilindra

preše. Konačno, na kraju cilindra preše smjesa se istiskuje kroz usnik (alat), čime proizvod dobiva svoj oblik. Iz preše izlazi opeka beskonačne visine (štruca, plastica, cijev, štrang), koja se odrezuje na reznom stolu na zadanu visinu, te se izrezuje mortni džep. Time je gotov proces oblikovanja opeke. Nadalje, opeka se robotom odlaže na palete (ramice, letvice) vagona sušare, lančanim konvejerom palete se dopremaju do hvatača koji zamiče sirove proizvode zbog efikasnijeg procesa sušenja, te se palete utovarnim liftom ulažu u vagon sušare. Vagon sušare se podnolančanim transporterom uvodi u sušaru.

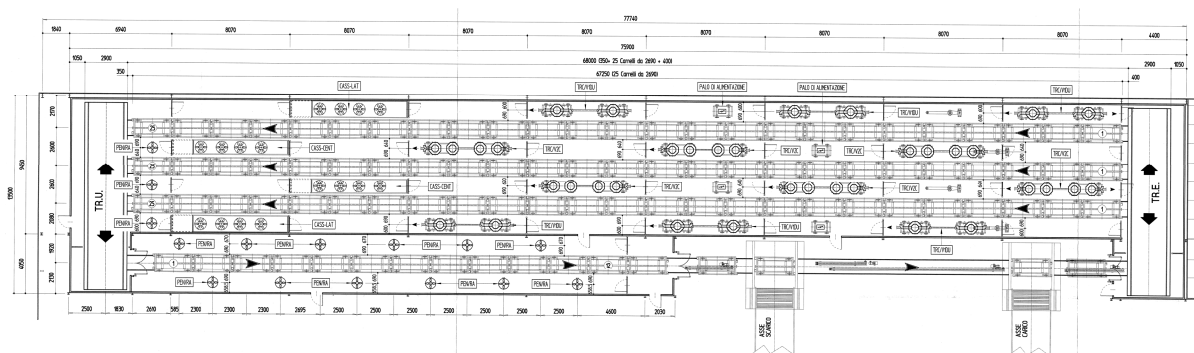
Efikasna regulacija tlaka preše je jedan od osnovnih preduvjeta za ispravno vođenje procesa oblikovanja zbog činjenice da tlak u cilindru preše određuje oblik plastice koja izlazi iz alata preše. Profil ekstrudiranja mora biti takav da se ostvari konkavni oblik plastice, tj. brže tečenje materijala i veću gustoću vanjskih stijenki opeke. Takav oblik nužan je preduvjet ispravnog procesa sušenja, tj. minimiziranja pojave pukotina sušare. Pravilan profil ekstrudirane plastice je isključivo empirijski podatak, do kojega se dolazi cijelim nizom proba. Regulacija tlaka preše ostvaruje se dodavanjem pare smjesi (zaparivanjem) na način da povećanjem vlage smjese dolazi do pada tlaka preše, te time i do povećanja konveksnosti ekstrudirane plastice, i obrnuto. Također, zaparivanjem se dobiva povoljnija struktura smjese, te podiže se temperatura ekstrudirane plastice što pospješuje slijedeći proces sušenja.

Regulacija tlaka preše izvedena je dvostupanjski, gruba regulacija odvija se zaparivanjem sitastog dodavača, dok se fina regulacija ostvaruje zaparivanjem miješalice na preši. Regulator mjeri jakost struje pogonskog elektromotora sitastog dodavača i miješalice, te ovisno o izmjerenoj jakosti struje pojačava ili smanjuje protok pare u iste, na način da pojačava protok u slučaju povećanja jakosti struje, i obrnuto.

## 5.4 Proces sušenja

Postoje dva principa sušenja s obzirom na kretanje materijala (sirove opeke). Prvi je komorni princip, za koji je karakteristično da materijal miruje a stanje atmosfere (temperatura i vlaga) se mijenja u funkciji vremena. Ta koncepcija je uglavnom napuštena, te egzistira isključivo u starijim postrojenjima. Razlozi napuštanja takve koncepcije sušenja su manji kapaciteti sušenja u odnosu na protočni tip, te izrazito veliki toplinski gubici prilikom punjenja i pražnjenja komora. Drugi je protočni princip, kod kojega je atmosfera na određenom mjestu u sušari konstantna. To znači da se kretanjem materijala (sirove opeke) ostvaruje promjena stanje atmosfere, tj. sam proces sušenja. Kretanjem kompozicije vagona, sirova opeka kontinuirano i blago prelazi iz stanja hladnije i vlažne atmosfere (ulazni dio sušare) u konačno vruću i suhu atmosferu (izlazni dio sušare). Kontinuirano kretanja sirove mase je nužan preduvjet ispravnog procesa sušenja.

Postoji, u rijetkim slučajevima, i kombinacija između protočnog i komornog tipa sušare. Takav hibridni sustav, prikazan na Slika 27., je ipak prvenstveno protočnog tipa, međutim, prostor sušare je odijeljen vertikalnim zidovima koji tvore komore, te direktno strujanje zraka iz komoru u komoru nije moguće, već se strujanje odvija u prostoru između dvostrukog stropa.



**Slika 27. Tlocrt komorno-protočne sušare [17]**

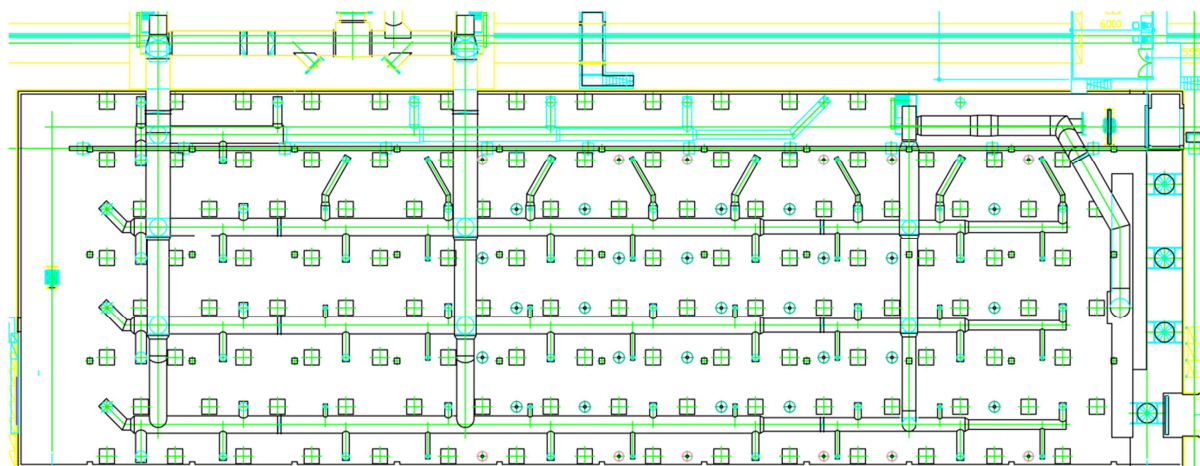
Sušara je u osnovi zidani objekt dužine 50-100 metara, širine 15-30 metara i visine 4-6 metara koji se može predočiti kao tunel u kojem se nalaze uzdužni kolosijeci (najčešće 6 kolosijeka) kojima se gibaju vagoni, te jedan poprečni kolosijek na ulazu i jedan na izlazu sušare. Na tim poprečnim kolosijecima nalaze se šinske prijevoznice,

čiji je zadatak navlačenje vagona sušare na sebe, transport do glavnih uzdužnih kolosijeka, te pogurivanje cijele kompozicije vagona sušare čime se ostvaruje kretanje sirovog materijala kroz sušaru i samo sušenje. U svaki uzdužni kolosijek stane obično 15-40 vagona sušare.

Između svakog uzdužnog kolosijeka pozicionirani su mikseri, koji su u osnovi vertikalni konični tuljci sa otvorima za istrujavanje toplog zraka. Na vrhu miksera nalazi se ventilator čija je zadaća miješanje vlažnog zraka iz prostora sušare sa vrućim zrakom iz cijevnog razvoda na tavanu sušare. Takva mješavina toplog zraka istrujava kroz otvore tuljka te struji i propuhuje sirovu opeku smještenu na vagonima sušare. Postoje dvije vrste miksera ovisno o vrsti gibanja tuljka. Prva vrsta su rotomikseri koji neprestano rotiraju oko svoje uzdužne osi, dok se drugi pravocrtno gibaju po šinama ili ovjesnom konvejeru uzduž sušare.

Na tavanu sušare smješten je prihvatni cjevovod vrućeg zraka, prikazan na Slika **28**. koji prima vrući zrak iz direktnih odsisa tunelske peći, te ga uz pomoć dva glavna ventilatora (ventilator vrućeg i ventilator toplog zraka) razvodi u poprečne i uzdužne kolektorske cjevovode koji transportiraju vrući zrak do svakog miksera u sušari. Vrući zrak je moguće po potrebi i dodatno zagrijati uz pomoć cijevnog plamenika. Također, postoji i cjevovod recirkulacije sa pratećom opremom (ventilator, cijevni plamenik) čiji je zadatak izvući vlažan zrak iz sušare, zagrijati ga, te ponovo vratiti u prostor sušare, čime se poboljšava proces sušenja, sprečava pojava kondenzacije u prednjem dijelu sušare i poboljšava energetska bilanca.

U prednjem dijelu sušare nalaze se odsisni ventilatori koji vlažan zrak ispuštaju u okoliš. Strujanje različitih vrsta zraka unutar sušare je kaotičan, imajući u vidu činjenicu da rotomikseri ispuhuju zrak u svim smjerovima. Međutim, djelovanjem odsisnih ventilatora glavna zračna struja giba se od kraja sušare do njenog početka, protustrujno u odnosu na smjer kretanja sirove opeke.



**Slika 28. Tlocrt razvoda zraka tunelske sušare [18]**

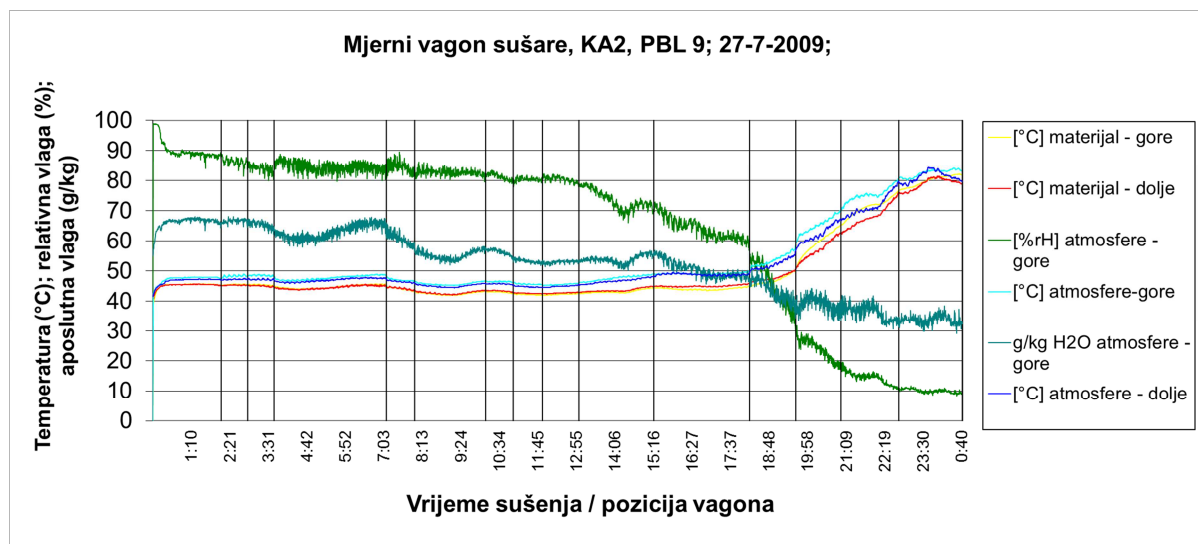
Regulacija procesa sušenja vrši se PLC-om koji putem svojih ulaznih kartica prima signale od cijelog niza sonde temperature, vlage, tlaka, smještene na različitim pozicijama unutar sušare, te unutar kolektora i razvoda toplog i vrućeg zraka. Na temelju zadanih vrijednosti temperatura i vlaga atmosfere u sušari, do kojih se dolazi isključivo empirijski za pojedini format opeke, vrši se regulacija brojnih izvršnih članova kao što su: broj okretaja ventilatora vrućeg i toplog zraka, otvorenost zaklopki svježeg zraka, rad plamenika vrućeg zraka, otvorenost odsisne zaklopke centralnog cjevovoda toplog zraka iz tunelske peći, rad ventilatora i plamenika recirkulacije vlažnog zraka, broj okretaja ventilatora odsisa iz sušare itd.

Regulacija procesa sušenja opekarskih proizvoda je vrlo zahtjevnja iz više razloga. Prvi razlog je činjenica da je regulacija indirektna, tj. ne vrši se regulacija temperature i vlage sirovih opeka, već atmosfere koja postoji unutar sušare. Direktna regulacija nije tehnički moguća, međutim, vrši se kontrola sirovih opeka tako da se sirova opeka odstrani sa različitih mjesta u procesu, te se provedu mjerenja i ispitivanja van sušare. Na ovaj se način dolazi do empirijskih podataka o korelaciji između stanja atmosfere unutar sušare i stanja sirove opeke koja je u procesu sušenja, što omogućuje regulaciju procesa sušenja. Na Slika 29. prikazan je tijek temperature i vlage u procesu sušenja.

Druga velika zapreka pravilnom vođenju procesa sušenja je činjenica da uvjeti sušenja pojedine opeke uvelike ovise o položaju te opeke na vagonu sušare. Iako postoje različitosti uvjeta sušenja opeke u vertikalnoj ravnini, njih treba zanemariti, međutim, različite uvjete sušenja u horizontalnoj ravnini nije uputno zanemariti. Sušenje opeke u prvom redu do miksera je znatno intenzivnije, zbog čega prije dolazi

do pada vlage opeke, te prije počinje proces skupljanja, dok je ukupno skupljanje opeke manje. Sušenje opeke u drugom i trećem redu od miksera je znatno sporije, pa opeke imaju veću vlagu, manje stezanje, dok je ukupno stezanje veće. Te razlike u dinamici sušenja nije moguće eliminirati, pa je nužno proces sušenja voditi na takav način da svaka opeka, bez obzira na kojem položaju na vagonu sušare je prolazila kroz sušaru, izađe iz procesa sušenja sa zadanom vlagom (2-3% relativne vlage) i bez oštećenja (pukotina), sve u skladu s internim pravilima kvalitete proizvođača.

Slijedeća prepreka ispravnog vođenja procesa sušenja je balansiranje kanala toplog i vrućeg zraka. Naime, sonde temperature i vlage, koje su bitne za vođenje procesa, raspoređene su uzduž sušare u liniju. Imajuću u vidu činjenicu da obično postoje 6 kolosijeka kojima se transportiraju vagoni, nužno je omogućiti balansiranjem isto stanje atmosfere na svim kolosijecima sušare.



**Slika 29. Tijek temperature i vlage u procesu sušenja**

Tehnološki gledano, proces sušenja treba omogućiti da sirova opeka sa 20-21% relativne vlage i temperature cca. 40°C koja ulazi u proces, izađe iz procesa sa 2-3% relativne vlage i bez pukotina. Pukotine su defekt procesa sušenja koji nastaje zbog stezanja opeke. Procesom sušenja, voda iz sirovog bloka isparava, te se blok zbog toga skuplja. Na taj se način javljaju naprezanja unutar opeke, te ukoliko je skupljanje prebrzo nastaju pukotine. Pukotine sušare ne moraju nužno nastati zbog neodgovarajućeg procesa sušenja, već mogu nastati i zbog nepravilnog procesa sirove proizvodnje (osciliranje tlaka preše, nepravilan profil ekstrudirane plastice).



## 5.5 Proces pečenja

Tunelska peć omogućuje kontinuirano pečenje opeke. Kontinuiranim pogurivanjem kompozicije vagona peći unutar koje svaki pojedinačni vagon prolazi kroz različite faze pečenja opeke. Osnovne faze pečenja opeke su slijedeće:

- predgrijavanje (zagrijavanje),
- pečenje,
- brzo hlađenje,
- hlađenje.

Peć je u naravi zidana građevina, širine 5-6 metara, visine 4-6 metara i dužine 100-160 metara, kroz koju prolazi cijelom svojom dužinom tunel. U tunelu uložene su željezničke šine, po kojim putuje kompozicija vagona peći na kojima su složeni slogovi opeke. Unutrašnjost peći, kao i gornji dio vagona peći, obložen je šamotom zbog visokih temperatura (oko 900°C). Pješćana brtva ima važnu ulogu odvajanja prostora iznad vagona gdje se vrši pečenje opeke od prostora ispod vagona. U peći se mogu zapaziti cijeli niz otvora:

- bočni otvori dimnjaka,
- tavanični otvori puhalica,
- bočni otvori za brzoučinske plamenike,
- tavanični otvori za brzoučinske plamenike,
- tavanični otvori za injektorske plamenike,
- tavanični otvori za brzo hlađenje,
- tavanični otvori za gornji i donji direktni odsis vrućeg zraka,
- tavanični otvori za primarni zrak.

Proces započinje ulaskom vagona u predgrijač peći gdje se opeka postupno zagrijava s okolišne temperature na temperaturu od 90°C. Na kraju predgrijača prijevoznica peći navlači vagon peći na sebe i pozicionira ga ispred peći. Slijedi pogurivanje cijele kompozicije peći hidrauličkim pogurivačem. U prvom dijelu peći

opeka se predgrijava dimnim plinovima iz vatrenog dijela peći, a dimni plinovi se povlače ventilatorom dimnjaka na početku peći. Nakon prolaska zone predgrijavanja vagon peći ulazi pod vatru brzoučinskih, te zatim injektorskih plamenika gdje dolazi do pečenja opeke pod vršnom vatrom. Opeka se izlaskom iz vatre naglo hladi upuhivanjem okolišnog zraka u peć. Nakon brzog hlađenja opeka se sporo hladi izvlačenjem vrućeg zraka iz peći na gornjem i donjem direktnom odsisu, te upuhivanjem primarnog zraka na kraju peći. Vagon peći izlazi iz peći s ohlađenom opekam, te ga šinska prijevoznica transportira u zonu istovara.

### 5.5.1 Minerali u procesu pečenja

Proces pečenja opekarskih proizvoda u peći odvija se po istim principima po kojima se odvija i transformacija osnovnih glinenih minerala pri njihovom termičkom tretiranju do temperature pečenja, a koja se može interpretirati kemijskim i mineralnim transformacijama minerala kaolinita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) u mulit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) [16].

Stvarni procesi koji se odvijaju pri pečenju opekarskih proizvoda znatno su kompleksniji jer kaolinit nije jedini mineral koji je prisutan u sastavu opekarskih glina, već su prisutni i drugi minerali kao što su:

- iliti,
- hidroliskuni,
- liskuni,
- feldspati,
- halojzit,
- kvarc,
- karbonati.

Promatrajući sa stajališta tehnologije proizvodnje opekarskih proizvoda, proces pečenja ovisi o slijedećim faktorima:

- a) sastavu glinene sirovine,

- b) temperaturi pečenja,
- c) vremenu pečenja,
- d) skupljanju pri pečenju,
- e) granulometriji,
- f) kemijskom sastavu gline.

### 5.5.2 Tijek procesa pečenja u opekarskim pećima

Proces pečenja opeke (gline) u opekarskim pećima odvija se u četiri osnovne faze, kako slijedi [16]:

#### **a) Faza odstranjivanja slobodne vlage (vode)**

Proces počinje odstranjenjem vode preostale u osušenim opekarskim proizvodima (2-3%), pri čemu treba imati na umu da može doći do povećanja vlage naknadnim upijanjem vlage uslijed predugog zadržavanja glinenih proizvoda na atmosferskom zraku (skladištenje suhe robe). Teoretski, zaostala voda uklanja se na temperaturi od 105°C, međutim, u industrijskim uvjetima uklanjanje zaostale vlage završava tek u temperaturnom intervalu 120 - 150°C. U cilju izbjegavanja ugroženosti kompaktne strukture suhih proizvoda, odnosno reduciranja opasnosti od pukotina koje mogu nastati uslijed prevelike brzine smanjenja zaostale vlage, podizanje temperature u ovom početnom periodu mora biti iznimno polako.

#### **b ) Faza odstranjivanja kristalne i konstitucione vode**

Faza odstranjenja kristalne vode odvija se u temperaturnom intervalu 400 - 600°C. Iako odstranjenje kristalne vode ima za posljedicu bespovratni gubitak plastičnosti, glina i dalje zadržava svoju poroznost koja omogućuje daljnje odstranjivanje konstitucione vode. Ovi procesi odvijaju se u temperaturnom intervalu 600 - 900°C.

### c) Faza mineralnih transformacija

Faza mineralnih transformacija, odnosno pretvorba glinenih minerala iz jednog u drugi kristalni oblik, započinje razlaganjem glinenih minerala (bez vode) na osnovne okside.

Daljnja transformacija je u temperaturnom intervalu od 900 - 1200°C u silimanit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \bullet \text{SiO}_2$ ), a zatim u mulit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \bullet 2\text{SiO}_2$ ) i kristobalit ( $\text{SiO}_2$ ).

Stvaranje mulita koje se događa u industrijskim uvjetima u temperaturnom intervalu od 950 - 1150°C uvijek je praćeno istodobnim stvaranjem kristalnog kvarca u obliku kristobalita ( $\text{SiO}_2$ ) pri čemu dolazi i do stvaranja tekućih faza silikatnog karaktera. Reakcije transformacija amorfni oksida aluminija i silicija najprije u silimanit, a zatim u mulit, egzotermnog su karaktera, što potvrđuje egzotermni vrh na diferencijalno-termičkom dijagramu kaolinita. Spomenuti procesi mineralnih transformacija ne odvijaju se brzo. Proces se ubrzava tek pri postizanju optimalne temperature na kojoj se vrši transformacija silimanita u mulit.

### d) Faza hlađenja proizvoda

Ovu fazu karakterizira hlađenje pečenih glinenih proizvoda do temperature koja omogućava njihovo iznošenje iz peći. S obzirom da na temperaturi pečenja glinene mase dolazi, u manjoj mjeri, i do stvaranja staklaste faze, može se opaziti stvaranje pojedinih mineralnih vrsta koje se inkorporiraju između minerala mulita i kristalnog kvarca (kristobalita). Time gotovi proizvodi dobivaju na kompaktnosti, odnosno, povećava im se mehanička čvrstoća.

Velika važnost daje se brzini hlađenja proizvoda do temperature pri kojoj se proizvodi iznose iz peći (20 - 40°C), pri čemu brzina hlađenja ovisi o mineralnom i kemijskom sastavu gline. Načelno govoreći, hlađenje proizvoda koje se vrši strujanjem zraka kroz zonu hlađenja treba izvoditi što sporije, osobito u zoni temperature od 573°C, pri kojoj dolazi do inverzne reakcije transformacije kvarca.

### 5.5.3 Karakteristične temperature procesa pečenja

Za ocjenu ponašanja opekarskih glina pri pečenju koriste se karakteristične temperature procesa pečenja. Temperature su određene na temelju stupnja poroznosti glinene mase pri procesu pečenja .

Za ocjenu prikladnosti pojedine vrste gline kao sirovine za izradu opekarskih proizvoda koriste se slijedeće karakteristične temperature:

- temperatura pečenja,
- temperatura klinkerovanja,
- temperatura sinteriranja,
- temperatura topljenja (vatrostalnosti).

Temperatura pečenja je temperatura na kojoj treba peći proizvod, u cilju ispunjavanja svih potrebnih zahtjeva za gotovi proizvod (tlačna čvrstoća, upijanje vode). Određuje se ispitivanjem ispitnih glinenih epruveta dobivenih pečenjem na različitim temperaturama.

Temperatura klinkerovanja je temperatura na kojoj se čestice gline počinju međusobno približavati, uslijed čega dolazi samo do djelomičnog zgušnjavanja glinenog proizvoda, tako da u ovoj fazi još postoji znatna poroznost proizvoda, koju smanjuju lako topive komponente iz gline, popunjavajući neke od ovih međuprostora.

Temperatura sinteriranja je temperatura na kojoj se čestice gline počinju taliti po površini, odnosno dolazi do stvaranja staklaste faze koja popunjava međuprostore između novonastalih kristalnih spojeva. Poroznost proizvoda je veoma mala ili je gotovo nema. Proizvodi zadržavaju svoj oblik uz znatno skupljanje.

Temperatura topljenja je temperatura na kojoj se cjelokupna glinena masa počinje topiti, proizvodi gube svoj prvobitni oblik, dok je poroznost u cijelosti eliminirana.

#### 5.5.4 Opis tehnološkog procesa tunelske peći

Tunelska peć je postrojenje namijenjeno za pečenje svih vrsta opekarskih proizvoda. Izvedba tunelske peći sa sustavom loženja, recirkulacije i hlađenja, uz uporabu pravilno odabranih materijala, omogućuje maksimalnu radnu temperaturu od 1150°C. Izvedena je kao kontinuirani tunel s vertikalnim bočnim zidovima i vodoravnim visećim stropom koji je ovješten o stropne čelične nosače i vertikalne čelične stupove. Unutrašnjost tunelske peći prikazana je na Slika 30., dok je na Slika 31. prikazan karakteristični presjek bočnog zida tunelske peći.

U tunelskoj se peći, pod utjecajem topline razvijene sagorijevanjem goriva, proizvodi zagrijavaju na, ovisno o sirovini i vrsti proizvoda, potrebnu temperaturu, te se zadržavaju na toj temperaturi određeno vrijeme. Tim se postupkom uklanja zaostala vlaga, a nizom kemijskih reakcija u procesu pečenja proizvodi postižu tražena svojstva, kao što su tlačna čvrstoća, otpornost na trošenje, otpornost na utjecaj kemijskih i fizičkih djelovanja i izgled (boja, oblik itd.).

Proizvodi se u peć dopremaju složeni na vagone tunelske peći, te se cjelokupna kompozicija vagona u određenim vremenskim intervalima potiskuje za duljinu od pola vagona (najčešće 1300 ili 1400 mm).

Pri tomu proizvodi prolaze kroz slijedeće zone prikazane na Slika 32.:

**A) zona zagrijavanja**, gdje se opekarski proizvodi u struji vrućih plinova, nastalih u procesu izgaranja, postupno zagrijavaju na potrebnu temperaturu. Na taj se način koristi veliki dio topline akumuliran u plinovima izgaranja, a samo minimalni dio te topline gubi se s dimnim plinovima, čija izlazna temperatura iznosi 120-180°C. Temperatura dimnih plinova, koji se povlače ventilatorom dimnjaka te izlaze kroz dimnjak, ovisi o cijelom nizu faktora kao što su: vrsta opekarskog proizvoda, masa opekarskih proizvoda na vagonu, način slaganja proizvoda na vagonu, brzina pogurivanja kompozicije. Određivanje optimalne temperature dimnih plinova za pojedini proizvod i za određenu razinu proizvodnje znači balansiranje između suprostavljenih zahtjeva: što niže temperature dimnih plinova zbog energetske (financijske) učinkovitosti i što boljeg predgrijavanja opekarskih proizvoda u cilju bolje pripreme za proces pečenja. Nadalje, najveći problem koji je potrebno riješiti je postizanje jednoličnog i blagog rasta temperature kroz zonu predgrijavanja, kao i

postizanje istih temperaturnih režima po visini pakete opekarskih proizvoda na vagonu peći. Ostvarivanje istih temperaturnih režima po visini paketa ostvaruje se ugradnjom puhalica koje spuštaju struju vrućih dimnih plinova u donji dio paketa ili uporabom turbo mješača.

**B) zona pečenja**, gdje se opekarski proizvodi griju sa ložnim skupinama brzoučinskih plamenika s kontrolom plamena, s ciljem jednoličnog rasta temperature i dostizanja temperature samozapaljenja prirodnog plina. Nakon zone brzoučinskih ložnih skupina, opekarski proizvodi dolaze do glavnih ložnih skupina tzv. injektorskih plamenika, kroz koje se u peć upuhuje smjesa prirodnog plina i zraka, koja ulaskom u peć se zapaljuje samom temperaturom atmosfere unutar peći. Kroz zonu navedene skupine ložnih skupina vrši se konačno i vršno pečenje opekarskih proizvoda. Vršna temperature pečenja ovisi o cijelom nizu faktora kao što su: sastav gline, vrsta i težina opekarskih proizvoda, brzina pogurivanja kompozicije vagona, a iznosi 880 - 960°C. I kod vršne temperature pečenja potrebno je vršiti optimiranje tj. balansiranje između suprostavljenih zahtjeva: viša vršna temperatura rezultira većom pritiskom čvrstoćom i manjim upijanjem vode, međutim, iziskuje veću potrošnju prirodnog plina i time povećava troškove proizvodnje.

**C) zona hlađenja**, koja se sastoji od dvije zone: zona brzog hlađenja i zona hlađenja direktnim odsisima. U zoni brzog hlađenja u peć se upuhuje okolišni zrak iz hale peći, te se time vrši ubrzano hlađenje opekarskih proizvoda do iznad kritične temperature od 550 - 600°C na kojoj dolazi do promjene rešetke kristala nevezanog kvarca iz  $\alpha$  u  $\beta$  oblik (teorijska temperatura 573°C), te dolazi do znatnih promjena volumena. Stoga, također je potrebno smanjiti intenzitet hlađenja, odnosno postupno hladiti opekarske proizvode strujom zraka koja se upuhuje na kraju peći (tzv. primarni ili gurajući zrak) i izlazi iz peći kroz gornje i donje direktne odsise, te se nadalje odvodi u tunelsku sušaru. Topao i vrući zrak hlađenjem opekarskih proizvoda kao i dio plinova izgaranja služi kao primarni izvor topline za proces sušenja opekarskih proizvoda.

U prikazanom tehnološkom procesu u tunelskoj peći sudjeluje cijeli niz sustava kojima je opremljena tunelske peć:

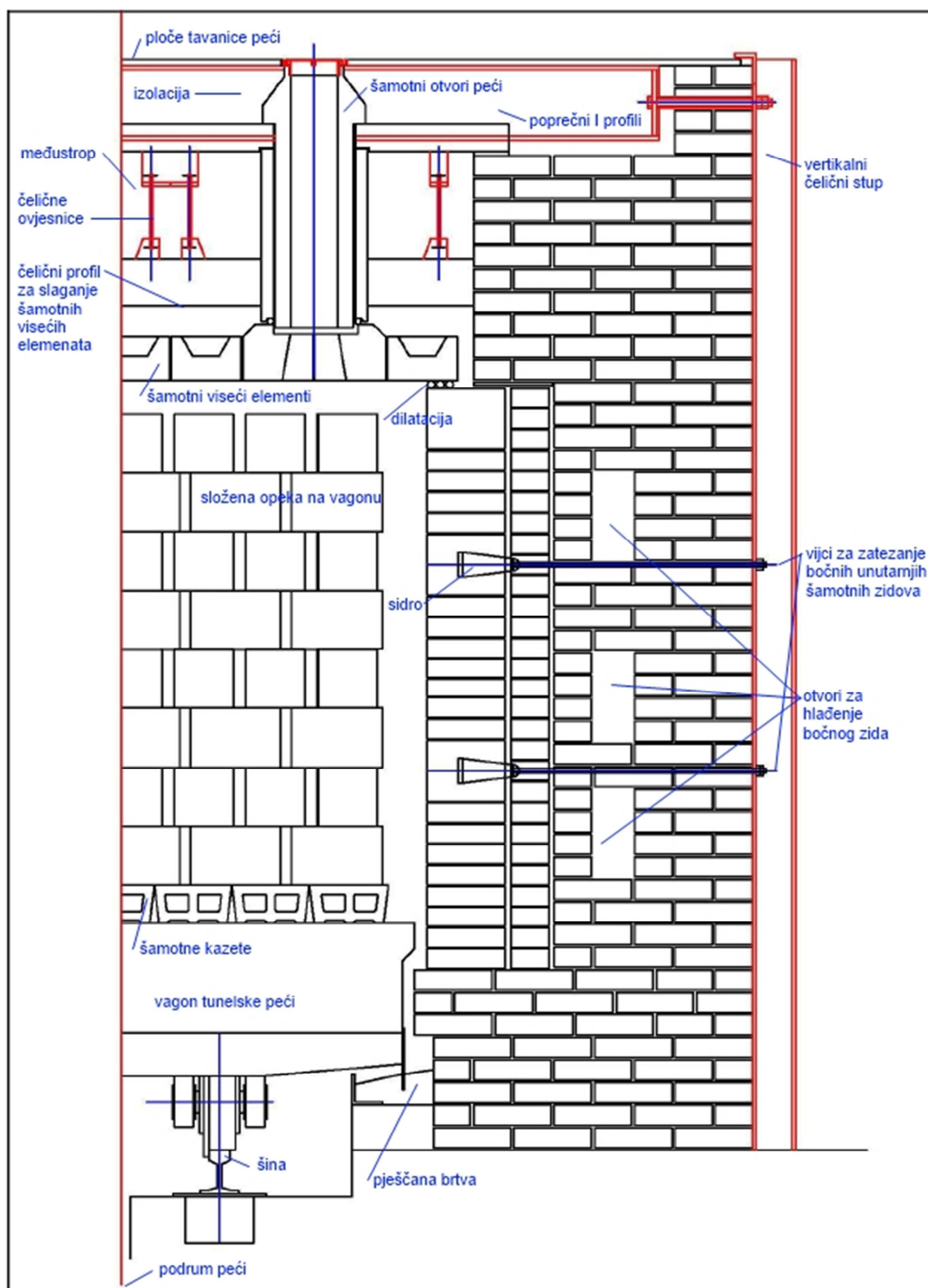
- sustavi osnovnog procesa – predgrijavanje, pečenje, brzo i sporo hlađenje,

- sustavi hlađenja tavanice, bočnih zidova i podruma peći,
- sustav regulacije tlaka unutar vatrenog kanala,
- sustav regulacije temperature atmosfere u vatrenom kanalu,
- sustav pogurivanja kompozicije vagona peći kroz tunelsku peć,
- sustavi brtvljenja vagona i tunelske peći,
- sustav odsisa dimnih plinova,
- sustav recirkulacije dimnih plinova,
- sustav upravljanja peći PLC-om, nizom temperaturnih i sondi tlaka, frekventnim regulatorima.

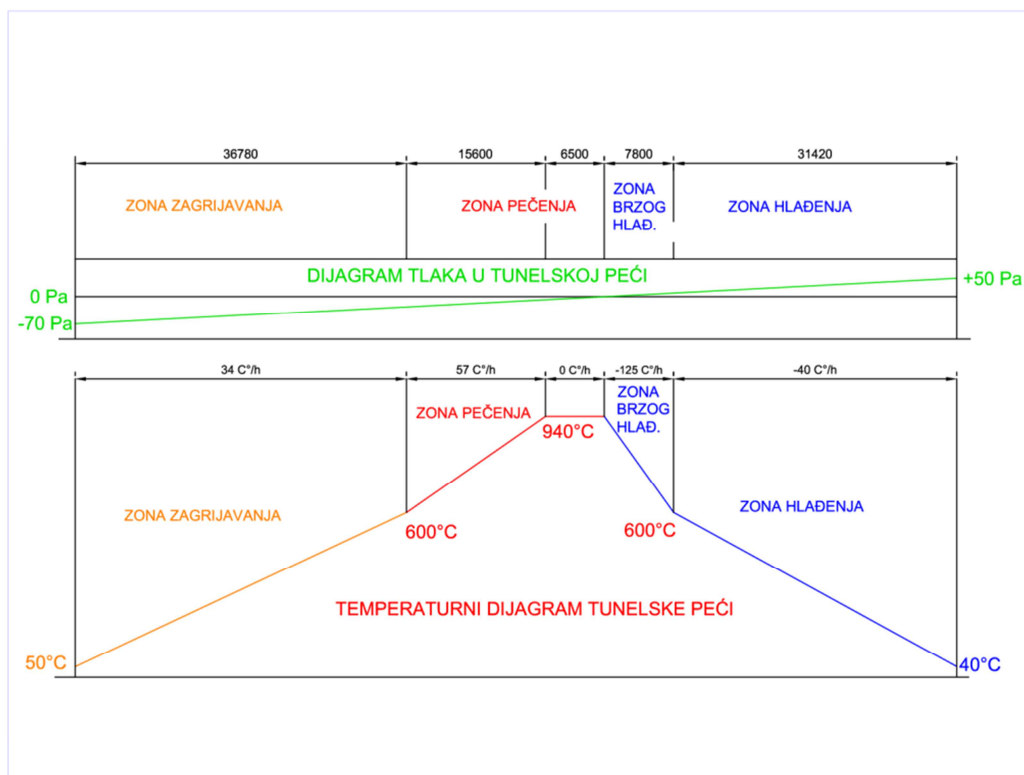


**Slika 30. Unutrašnjost tunelske peći**





**Slika 31. Karakteristični presjek bočnog zida tunelske peći [15]**



**Slika 32. Temperaturne zone tunelske peći s usporednim dijagramom tlaka [15]**

### 5.5.5 Sustav stacionarne dijagnostike procesa pečenja

U cilju ispravnog vođenja tehnološkog procesa pečenja opekarskih proizvoda, kao i zbog razloga zaštite radnika i instaliranih strojeva i opreme, tunelska peć je opremljena nizom mjerne opreme koja je povezana centralnim sustavom upravljanja tunelske peći. Centralni sustav upravljanja peći regulira cjelokupni rad tunelske peći na temelju podataka koji dobiva od mjerne opreme. Svaka veličina koja se mjeri ima dopuštene granice odstupanja, stoga, ako se prekorače, ovisno o ozbiljnosti odstupanja, dolazi do alarma, popraćenog zvučnim i svjetlosnim efektima. Prekoračenje dopuštenih odstupanja veličina koje mogu rezultirati ugrožavanjem života radnika ili uništenjem instaliranih strojeva i opreme, kao što su požar ili eksplozija, rezultira trenutnom blokadom rada tunelske peći. Uređaji za mjerenje parametara tunelske peći su slijedeći:

- termoelement za mjerenje temperature zraka za predgrijavanje pripremnog prostora,
- termoelement za mjerenje temperature dimnih plinova,
- senzori broja okretaja ventilatora dimnih plinova,
- termoelementi za mjerenje temperature u vatrenom kanalu u zoni predgrijavanja robe, ugrađeni u strop peći i uronjeni u vatreni kanal,
- termoelementi ložnih grupa brzoučinskih plamenika sa kontrolom plamena za mjerenje temperature u zoni predgrijavanja i upravljanja navedenim ložnim grupama, ugrađeni u strop peći i uronjeni u vatreni kanal,
- termoelementi ložnih grupa injektorskih plamenika bez kontrole plamena za mjerenje temperatura u zoni pečenja i upravljanje navedenim ložnim grupama, ugrađeni u strop peći i uronjeni u vatreni kanal,
- termoelementi za kontrolu temperature u međustropu, ugrađeni u stropu peći i uronjeni u međustrop, na pozicijama iznad područja maksimalnih temperatura u vatrenom kanalu, za zaštitu čelične konstrukcije visećeg stropa,
- termoelementi za upravljanje sustavom brzog hlađenja, ugrađeni u strop peći i uronjeni u vatreni kanal u području sustava brzog hlađenja,
- termoelementi za mjerenje temperature u zoni hlađenja robe, ugrađeni u strop peći i uronjeni u vatreni kanal,
- termoelementi za mjerenje temperature toplog zraka u granama cjevovoda sustava hlađenja peći, ugrađeni direktno u navedene cjevovode,
- senzor broja okretaja ventilatora za izvlačenje vrućeg i toplog zraka prema sušari,
- termoelementi za mjerenje temperature u podrumu peći ispod vagona, ugrađeni na bočni zid kanala podruma peći,
- uređaji za mjerenje potlaka i pretlaka u vatrenom kanalu peći, ugrađeni u strop peći.

### 5.5.6 Parametri tunelske peći i procesa pečenja opekarskih proizvoda

Tunelska peć za pečenje opekarskih proizvoda izrazito je složen sustav kojim upravlja središnji sustav za upravljanje tunelskom peći. Razlog tomu je činjenica da središnji sustav mora procesuirati i upravljati mnoštvom parametara izvršnih članova na temelju podataka koje dobiva preko različitih sondi, te činjenica da su tunelska peć i sušara tehnološka cjelina, zbog čega način vođenja peći ima izravan utjecaj na rad sušare.

Pri analizi parametara u procesu pečenja moraju se razgraničiti dvije razine parametra:

- 1) Parametri rada tunelske peći i
- 2) Tehnološki parametri procesa pečenja

ad 1) Parametri rada tunelske peći zamjetno su brojniji od tehnoloških parametara jer upravljaju mnoštvom izvršnih članova peći (u cilju postizanja tehnoloških parametara), kao što imaju i funkciju nesmetanog odvijanja procesa i zadaću zaštite instalirane opreme i zaposlenika. Valja nabrojiti neke od važnijih:

- interval potiskivanja pola vagona u peć,
- temperatura zraka u pripremnom prostoru peći,
- diferencijalni tlak ispred i iza drugih vrata peći, otvorenost elektromotorne zaklopke odsisa zraka u pripremnom prostoru prema cjevovodu toplog zraka za sušaru,
- temperatura dimnih plinova prije ventilatora, frekvencija elektromotora ventilatora, potlak u vatrenom kanalu prije otvora dimnjaka,
- diferencijalni tlak u vatrenom kanalu i podrumu na početku peći, frekvencija ventilatora zraka u podrumu, na početku peći,

- temperatura dimnih plinova na usisnom dijelu turbo uređaja, broj okretaja ventilatora turbo uređaja, otvorenost zaklopke svježeg zraka, temperatura dimnih plinova na potisnoj strani turbo uređaja,
- mehanizam otvaranja prvih i drugih vrata sa krajnjim sklopkama za signaliziranje položaja vrata,
- temperature dimnih plinova u zoni predgrijavanja,
- temperatura dimnih plinova svake pojedine ložne grupe brzoučinskih HG plamenika,
- temperatura dimnih plinova svake pojedine ložne grupe injektorskih plamenika,
- pretlak dimnih plinova iza zone loženja,
- diferencijalni tlak u vatrenom kanalu i podrumu na početku peći, frekvencija ventilatora zraka u podrumu, iza zone loženja,
- temperature u zoni brzog hlađenja i direktnih odsisa,
- temperatura toplog zraka za izgaranje injektorske grupe plamenika,
- temperatura i potlak u cjevovodu toplog zraka prije ventilatora,
- temperatura i potlak u cjevovodu vrućeg zraka prije ventilatora,
- dinamički tlak prije plamenika cjevovoda toplog zraka prema sušari,
- dinamički tlak prije plamenika cjevovoda vrućeg zraka prema sušari.

Navedeni parametri rada tunelske peći pohranjeni su u program središnjeg sustava upravljanja tunelskom peći. Svaki format opeke za određenu razinu proizvodnje ima svoj program, tj. svoju grupu parametara. Imajući u vidu da su velika većina nabrojanih parametara regulirane vrijednosti svaki ima i svoje karakteristične vrijednosti kao slijedi:

$X$  – trenutna vrijednost regulirane veličine ( $^{\circ}\text{C}$ , Pa)

$X_G$  – gornja dopuštena regulirana vrijednost

$X_D$  – donja dopuštena regulirana vrijednost

$W$  – zadana veličina ( $^{\circ}\text{C}$ , Pa)

$W_G$  – gornja dopuštena zadana vrijednost

$W_D$  – donja dopuštena zadana vrijednost

$Y$  – trenutna vrijednost izvršnog člana ( $\%$ , Hz)

$Y_G$  – gornja vrijednost izvršnog člana

$Y_D$  – donja vrijednost izvršnog člana

ad 2) Tehnološki parametri procesa pečenja su parametri pod kojima treba voditi proces pečenja u cilju postizanje traženih zahtjeva gotovog proizvoda. Naznačeni parametri su u prvom redu dobiveni iskustveno kontinuiranim pomacima u procesu putem optimizacije proizvodnog procesa. Osnovni tehnološki parametri procesa pečenja opekarskih proizvoda jesu:

a) Razina proizvodnje ili broj potiskivanja kompozicije vagona tunelske peći. Potiskivanje se vrši hidrauličkim agregatom. Uobičajena vrijednost potiskivanja za standardne proizvode zidne opeke je 34 – 51 ciklus/dan. Maksimalna vrijednost potiskivanja kompozicije vagona nije limitirana brzinom hidrauličkog pogurivača već tehnološkim procesom pečenja što znači da maksimalna vrijednost potiskivanja mora omogućiti dostizanje svih zadanih temperaturnih režima od predgrijavanja do hlađenja proizvoda. Treba imati na umu da je broj ciklusa obrnuto proporcionalan sa masom punog vagona peći, pa zato formati opeke čija je masa na vagonu veća imaju manji broj potiskivanja. Osim mase, slijedeći čimbenik koji utječe na ciklus potiskivanja je način slaganja opeke na vagone peći. Općenito govoreći, formati opeke koji imaju gušći raspored slaganja imati će i manji broj ciklusa potiskivanja zbog lošijeg progrijavanja paketa i obrnuto. Podizanje broja ciklusa potiskivanja preko normativa rezultirati će manjom temperaturom predgrijavanja i pečenja, smanjenim fizikalnim karakteristikama proizvoda, te konačno i lomom.

b) Temperaturni režim pečenja je daleko najvažniji parametar procesa pečenja opekarskih proizvoda. Može se generalno reći da opekarski proizvodi prolaze kroz zonu predgrijavanja do kvarne pretvorbe ( $573^{\circ}\text{C}$ ) blažim prirastom temperature ( $30^{\circ}\text{C/h}$ ), zatim prolaze kroz zonu brzoučinskih HG plamenika koji imaju ulogu osigurati temperaturu samozapaljenja prirodnog plina ( $> 700^{\circ}\text{C}$ ). Nadalje, opekarski proizvodi peku se na vršnoj temperaturi u zoni injektorskih plamenika ( $900^{\circ}\text{C}$ ), te ubrzano hlade do  $600^{\circ}\text{C}$  (iznad temperature kvarcne pretvorbe) i konačno postepeno hlade do izlaska iz peći ( $40^{\circ}\text{C}$ ).

c) Strujanje dimnih plinova kroz peći ili tzv. vuča dimnih plinova odvija se u suprotnom smjeru u odnosu na kretanje kompozicije vagona tunelske peći. Osnovno balansiranje strujanja zraka i dimnih plinova u vatrenom kanalu uzduž peći omogućava se dvama skupinama ventilatora: ventilator dimnih plinova i ventilatori primarnog zraka. Ventilator dimnih plinova, pozicioniran na početku tunelske peći, upravljani sa potlakom u cjevovodu prije ventilatora i temperaturom predgrijavanja u vatrenom kanalu, zadužen je za adekvatno predgrijavanje robe na način da stvara potlak u vatrenom kanalu ( $30\text{--}70\text{ Pa}$ ) te izvlači dimne plinove ( $120\text{--}150^{\circ}\text{C}$ ). Što je veći potlak, raste temperatura dimnih plinova, te se poboljšava predgrijavanje robe. Međutim, povećava se i potrošnja prirodnog plina. Elektromotor ventilatora dimnih plinova upravljani je frekventnim regulatorom. S druge strane, na kraju peći nalazi se grupa ventilatora primarnog zraka, upravljani frekventnim regulatorom, koja upuhuje okolišni zrak u vatreni kanal peći te stvara pretlak na kraju tunelske peći ( $30\text{--}50\text{ Pa}$ ). Struja primarnog zraka prvenstveno je namijenjena hlađenju opeke tako da preuzima toplinu od opeke, te zagrijana struji gornjim i donjim direktnim odsisom prema sušari. Manji dio struje odlazi u zonu vatre, te potom prema početku peći. Skupina ventilatora primarnog zraka je upravljani tako da održava nultu točku tlaka na fiksnom dijelu peći. Pravilo je da se nulta točka tlaka postavlja odmah iza zadnje ložne skupine injektorskih plamenika zbog sigurnosnih razloga tj. nakana je da je zona vatre u potlaku (zona djelovanja ventilatora dimnih plinova). Ali, zbog neprestanih napora u cilju povećanja proizvodnje često se dešava da je nulta točka tlaka pomjerena prema početku peći. Može se generalno reći da se strujanje dimnih plinova treba povećavati sa masom opeke složene na vagon tunelske peći, sa

povećanom gustoćom slaganja opeke na vagone tunelske peći i sa povećanjem potiskivanja kompozicije vagona tunelske peći.

## 5.6 Istovar i pakiranje

Istovar se vrši istovarnim hvatačem, ili robotom, koji uzima opeku steznim pločama, te je polaže na lančani transporter. Ukoliko se proizvodi Profi formati (brušena opeka) hvatač odlaže opeku na člankasti konvejer koji transportira opeku u stroj za brušenje, te paletiziranje. Opeka se na lančanim konvejerom transportira do trakastog konvejera, gdje se grupira, te dolazi ispod hvatača - slagača paleta. Slagači paleta podižu opeku te je slažu na palete. Formirane palete se lančanim konvejerom transportiraju do horizontalne i vertikalne vezačice gdje se paleta i paket opeke omotavaju trakom. Slijedi proces foliranja, gdje se navlači termoskupljajuća folija (hauba), koja se zagrijava plamenicima, te se steže oko paketa. Folirane palete se okretnim stolom i lančanim konvejerom transportira izvan hale proizvodnje.

## 5.7 Skladištenje opekarskih proizvoda

Skladište opekarskih proizvoda je asfaltirana ili betonirana površina koja je podijeljena u polja (sektore). Jedno polje može sadržavati samo jedan format opeke. Zbog racionalizacije skladišnog prostora palete se slažu jedna na drugu u dvije ili tri etaže, ovisno o visini paleta. Punjenje skladišta vrši se viličarima, kojima se palete transportiraju iz proizvodnje na skladište. Izuzimanje robe s skladišta se izvodi također viličarima kojima se utovaruju kamioni.



## 6. OPTIMIRANJE PROCESA PROIZVODNJE OPEKARSKIH PROIZVODA

Kontinuirano povećavanje produktivnosti, općenito govoreći, nužan je uvjet uspješnog poslovanja i konačno opstanka na tržištu. Takav princip naročito je primjenjiv u uvjetima proizvodnje opekarskih proizvoda, koju odlikuje kontinuirani 24-satni rad 365 dana godišnje uz veliki udio troškova energije u proizvodnim troškovima, te visokim ukupnim troškovima proizvodnje. U takvim okolnostima, nameće se potreba neprestanog optimiranja procesa proizvodnje opekarskih proizvoda. Optimiranje procesa proizvodnje opekarskih proizvoda podrazumijeva detaljno poznavanje primijenjenih tehnologija, karakteristika uređaja i strojeva, tehnoloških parametara i stručnost osoblja.

Prvi korak metodologije DMAIC-a je definiranje projekta optimizacije. Ciljevi optimiranja su zajednički za sve procese koji su prikazani u ovome poglavlju, a oni su definirani budžetom. Tako su budžetom definirani slijedeći ciljevi: ostvarenje budžetiranih proizvodnih količina, ostvarenje kapaciteta, utrošak toplinske i električne energije po masi pečene proizvodnje, udio prve, druge klase i udio škarta, troškovi prirodnog plina, troškovi električne energije, troškovi sirovine, troškovi održavanja, udio reklamacija, troškovi zaposlenika, ukupni proizvodni troškovi bez amortizacije itd.

Optimiranje procesa proizvodnje opekarskih proizvoda provodi se na različite načine, kako slijedi:

- smanjenje mase proizvoda,
- optimiranje sastava sirovinske smjese,
- smanjenje jedinične potrošnje plina,
- smanjenje jedinične potrošnje električne energije,

- uvođenje krutih goriva u sirovinsku smjesu,
- optimiranje režima rada sušare,
- optimiranje režima rada tunelske peći,
- povećanje proizvedenih količina proizvoda,
- smanjenje zastoja,
- minimiziranje gubitaka prilikom promjene formata,
- minimiziranje pojave nesukladnosti (najčešće pukotine - uzrok 2. klasi i otpadu),
- iskorištavanje energije otpadnih tvari (dimni plinovi tunelske sušare, dimni plinovi parnog kotla, ispušteni vlažni topli zrak iz sušare).

Spomenuti načini optimiranja procesa proizvodnje ili podizanja razine produktivnosti nisu međusobno neovisni, naprotiv, u izravnoj su ovisnosti. To se može ilustrirati činjenicom da smanjivanje mase proizvoda direktno rezultira manjim utroškom električne i toplinske energije, pojavom poteškoća u svezi održavanja postignutog stupnja kvalitete, smanjenjem pritiska čvrstoće gotovog proizvoda, mogućnošću podizanja proizvedene količine pod uvjetom da je proces sušenja ili pečenja usko grlo cjelokupnog proizvodnog procesa. Dakle, cjelokupni proces proizvodnje opekarskih proizvoda isprepleten je mnoštvom međusobnih veza i zakonitosti. Stoga, promjena u bilo kojem dijelu procesa uvjetuje promjene u gotovo svim ostalim dijelovima procesa proizvodnje.

Unapređenja procesa proizvodnje, općenito govoreći, ne moraju i nisu nužno rezultat samo tehničkih promjena u tehnologiji, instaliranoj opremi, već mogu biti organizacijskog karaktera, primjerice:

- povećanja tehnološke discipline,
- uvođenja kontinuiranih mjerenja i analiza,

- jasne i detaljne procedure,
- dizanja razine tvorničke kontrole,
- inzistiranja na timskom radu.

Iako su načini unapređenja i optimiranja procesa proizvodnje različitog karaktera, cilj je gotovo u pravilu uvijek isti, a to je reduciranje jediničnih troškova proizvodnje. Čak i u slučajevima kada se vrše napor u cilju povećanja proizvodnih količina opekarskih proizvoda, namjera nije samo puko povećanje količine proizvoda, već je reduciranje proizvodnog i ukupnog troška po jedinici proizvoda. Ekonomika proizvodnje nedvojbeno dokazuje da povećanjem proizvedene količine dolazi do smanjenja jediničnih troškova proizvodnje zbog smanjenja fiksnog dijela troška u jediničnoj cijeni. Međutim, praksa pokazuje da pri povećanju proizvedene količine dolazi i do smanjenja i varijabilnog dijela proizvodnih troškova po jedinici proizvoda. Iako je ta pojava u izravnoj suprotnosti s doslovnom definicijom varijabilnih troškova, valja napomenuti da se npr. trošak energije redovito, s punim pravom, svrstava u varijabilne troškove, međutim, trošak energije ima i manji fiksni dio, i to u vidu troška održavanja hladnog pogona. Stoga, povećanje proizvedene količine za određeni postotak neće povećati utrošak energije za taj isti postotak, već za nešto manji.

Proces optimiranja procesa proizvodnje obično mora pomiriti veći broj međusobno suprotstavljenih zahtjeva. Zbog toga, ne valja izgubiti iz vida „veliku sliku“, tj. nužnost da sve aktivnosti budu u suglasju sa prihvaćenom strategijom tvrtke. Svaka strategija mora uzeti u obzir ključne konkurentske prednosti pojedinog poduzeća u odnosu na ostala poduzeća u toj branši. U tom smislu često se vrši Swot analiza, tj. analiza unutarnjih čimbenika (jake i slabe strane) i analiza vanjskih čimbenika (prilike i prijetnje). Stoga, Swot analiza može poslužiti kao okvir unutar kojeg se mogu vršiti aktivnosti procesa optimiranja bez ugrožavanja ključnih konkurentskih prednosti poduzeća. Praksa pokazuje da je taj okvir u velikom broju slučajeva kvaliteta, pa je nužno uskladiti aktivnosti optimiranja sa usvojenom razinom kvalitete. Tablica 2. prikazana je Swot analiza tvrtke Wienerberger Ilovac.

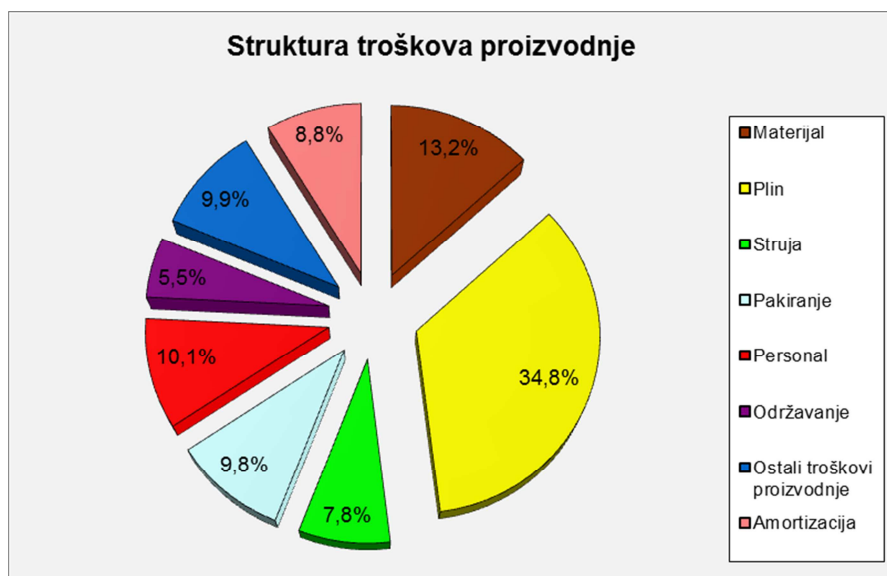
Tablica 2. SWOT analiza Wienerberger Ilovac

| SWOT ANALIZA                                                                         |                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Analiza unutarnjih čimbenika                                                         |                                                                                               |
| Strengths - Jake strane                                                              | Weaknesses - Slabe strane                                                                     |
| Znanje i iskustvo zaposlenika                                                        | Krutost, veliki sustav se sporije prilagođava promjenama na tržištu                           |
| Vrhunska tehnologija i tehnika                                                       | Uvjetna slabost - striktno pridržavanje svih zakona i propisa                                 |
| Najveće rezerve sirovine u Hrvatskoj                                                 | Usmjerenost na kvalitetu rezultira višom cijenom proizvoda                                    |
| Odlična prometna povezanosti                                                         | Proizvodni kapaciteti su značajno reducirani                                                  |
| Strateški položaj - blizina važnim tržištima Dalmacije, Primorja i Istre             |                                                                                               |
| Superiorna kvaliteta                                                                 |                                                                                               |
| Stabilnost - pripadnost multinacionalnoj korporaciji                                 |                                                                                               |
| Analiza vanjskih čimbenika                                                           |                                                                                               |
| Opportunities - Prilike                                                              | Threats - Prijetnje                                                                           |
| Novi revolucionarni proizvod - brušene opeka, jedini proizvođač u ovoj dijelu Europe | U krizno vrijeme, cijena postaje jedini kriterij kupnje, dok se kriterij kvalitete zanemaruje |
| Financijska stabilnost                                                               | Nelojalna konkurencija                                                                        |
| Jak brand na tržištu                                                                 | Smanjenje dostupnih količine piljevine na tržištu                                             |
|                                                                                      | Negativne makroekonomske prognoze za Hrvatsku                                                 |
|                                                                                      | Visoka cijena novca na tržištu                                                                |
|                                                                                      | Rast cijene energije                                                                          |
|                                                                                      | Stalno mijenjanje zakona i propisa                                                            |

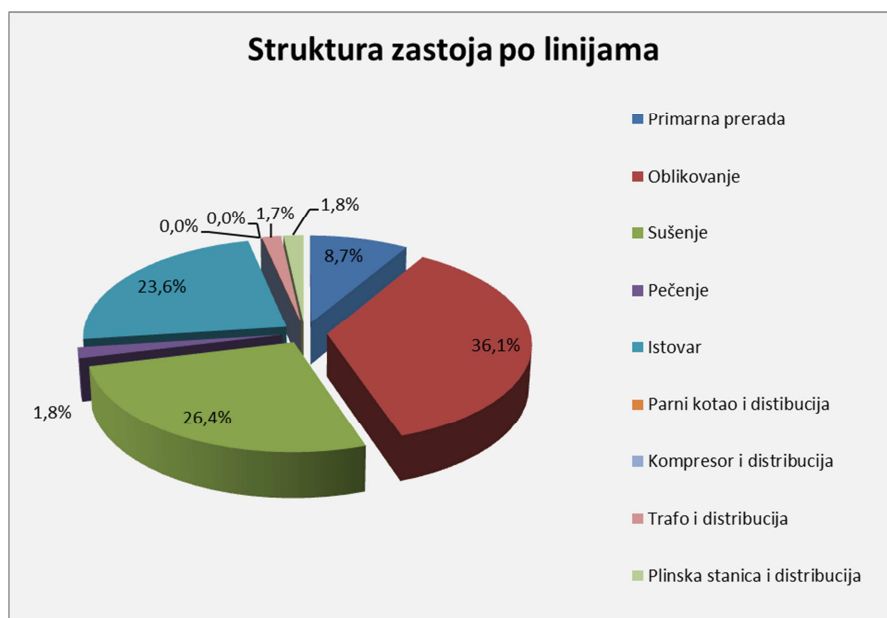
Imajući u vidu da postoji mnoštvo načina i područja u kojima se mogu izvršiti aktivnosti u cilju optimiranja proizvodnog procesa, potrebno je odrediti kriterij prema kojem je moguće izvršiti selekciju potencijalnih aktivnosti. Prvi kriterij je važnost faktora, tj. njegov udio u strukturi svih faktora. To znači da je racionalno planirati aktivnosti koje dovode do smanjenja proizvodnih troškova, prvenstveno reduciranja potrošnje prirodnog plina zbog činjenice da su troškovi plina (35% ukupnih proizvodnih troškova) najzastupljeniji u ukupnim troškovima proizvodnje, kao što je prikazano Slika 33. Doista, praksa pokazuje da oko 80% aktivnosti koje se vrše u procesu optimiranja proizvodnje opekarskih proizvoda imaju za cilj smanjenje potrošnje plina. Jednako tako, racionalno je organizirati aktivnosti otklanjanja uzroka zastoja primarno u procesu oblikovanja (36% ukupnih zastoja) i otklanjati tehnološke uzroke zastoja (34% ukupnih zastoja). Na Slika 34. prikazana je struktura zastoja po linijama, a na Slika 35. po kriteriju vrste kvara. Prvi kriterij odabira aktivnosti

optimiranja zapravo je Pareto princip odabira faktora prema njegovom relativnom značenju ili stupnju značenja u odnosu na sve ostale faktore.

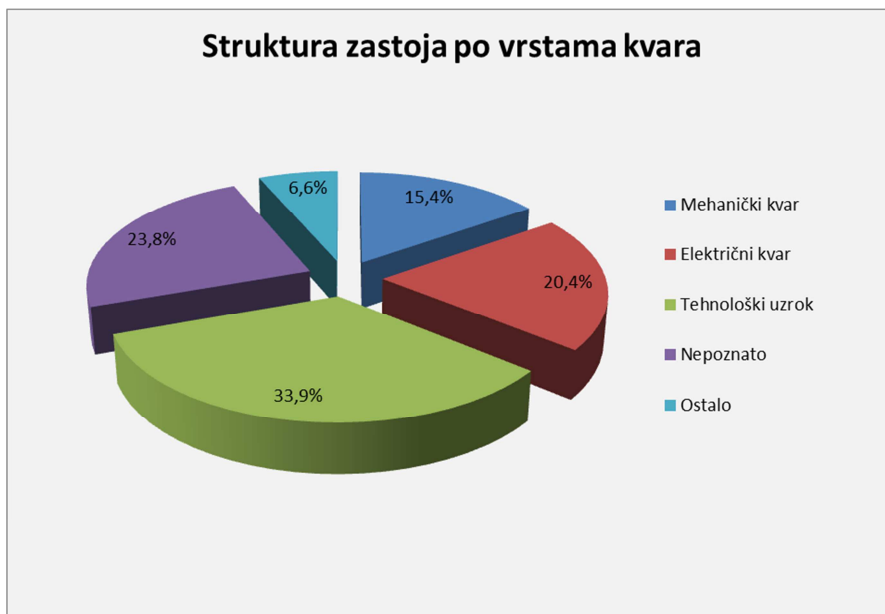
Drugi kriterij odabira potencijalnih aktivnosti optimiranja je trošak provedbe. Aktivnosti optimiranja procesa proizvodnje koje ne zahtijevaju visoke troškove, za razliku od aktivnosti instaliranja novih strojeva i opreme, dakako da imaju prednost.



**Slika 33. Struktura troškova proizvodnje [18]**



**Slika 34. Struktura zastoja po linijama**



**Slika 35. Struktura zastoja po vrstama kvara**

## 6.1 Optimiranje procesa primarne prerade i oblikovanja

Poboljšavanje procesa primarne prerade i oblikovanja vrši se u tri smjera: optimiranje procesa kroz osiguranje striktnog pridržavanja tehnoloških zahtjeva, reduciranje potrošnje električne energije i uvođenje održavanja po stanju.

Pridržavanje strogih tehnoloških zahtjeva, posebice u procesu primarne prerade, je ključan i nužan uvjet ispravnog vođenja tog procesa, ali i procesa koji slijede. Svako odstupanje od zadanog tehnološkog procesa primarne prerade izravno će se reflektirati na proces oblikovanja i sušenja. Pravilna eksploatacija halde, kontinuiran i jednoličan proces mljenja sirovinske smjese, ispravni parametri grubog i finog mlina, konstantna vlaga sirovine u odležavalištu, onemogućavanje pojave zadržavanja sirove smjese na pojedinim dijelovima transportnog sustava i stvaranje suhih grumena nužni su uvjeti pripreme za naredni proces oblikovanja. Isto tako, kontinuirano zaparivanje sirovine, održavanje kontinuiteta sirove proizvodnje, visoki postotak vakuumu unutar vakuum komore, održavanje konstantnog tlaka ekstrudiranje plastice ključni su parametri procesa oblikovanja.

Imajući u vidu da je energija u procesima primarne prerade i oblikovanja gotovo u potpunosti električna, reduciranje potrošnje energije temelji se na: maksimiziranju rada primarne prerade u vrijeme niže tarife električne energije, održavanju jalove energije u zadanim okvirima, ugradnji frekventnih pretvarača na većim elektromotorima, određivanju vremenskog rasporeda uključivanja većih elektromotora u cilju smanjenja vršnog opterećenja potrošnje električne energije u višoj tarifi.

Optimiranje procesa primarne prerade i oblikovanja primjenom održavanja po stanju je veoma zanimljiva koncepcija, jer, u ovom slučaju, ujedinjuje smanjenje troškova energije i održavanja, povećanje raspoloživosti opreme i pogonske sigurnosti, ali i povećanje kvalitete pojedinih procesa, pa time i kvalitete gotovog proizvoda.

Budući da kod strojeva u procesu pripreme i oblikovanja dolazi do izraženog trošenja zbog visoke abrazivnosti sirovine, kao i zbog činjenice da je moguće otkriti korelaciju jakosti struje elektromotora pojedinih strojeva sa stupnjem istrošenosti potrošnih dijelova, postoji mogućnost usvajanja koncepcije održavanja po stanju. Veoma je važno da nisu potrebni skupi dijagnostički uređaji, jer stanje potrošnih dijelova strojeva jednostavno je odrediti mjerenjem pomičnim mjerilom ili očitavanjem amper metra pojedinog elektromotora. U nastavku su dani primjeri optimiranja primjenom održavanja po stanju.

Prilikom ekstrudiranja sirovine kroz alat, prikazan Slika **36.**, u procesu oblikovanja dolazi do trošenja alata tj. keramičkih jezgri i keramičkog okvira zbog izrazito abrazivne prirode sirovine (posebice pijeska). Na Slika **37.** prikazani su potrošni dijelovi alata. Trošenje jezgri i okvira alata rezultira povećanjem mase opeke, te uzrokuje:

- povećani utrošak sirovine (gline, piljevine, pijeska),
- povećanu potrošnju električne energije za preradu,
- povećanu potrošnju toplinske energije (prirodnog plina) u procesima sušenja i pečenja,

- povećano trošenje strojeva koji prerađuju sirovinu.

Gore spomenute posljedice dovode do znatnog povećanja troškova proizvodnje. Praćenjem težine sirove opeke i količine koja je ekstrudirana kroz određeni alat, moguće je odrediti točku nakon koje je racionalno promijeniti dijelove alata, jer su troškovi nabavke potrošnog dijela alata manji od troškova dodatnog materijala koji nastaje upotrebom postojećeg istrošenog alata. Baza izračuna je ekstrudirana količina sirovine u MNF<sup>2</sup> (milijun normalnih formata).

Praćenjem mase bloka PTH 20 S u ovisnosti o ekstrudiranoj količini kroz isti alat u milijunima NF-a i uz poznavanje troškova proizvodnje i troškova nabave alata, napravljen je dijagram koji grafički prikazuje usporedbu relativnih troškova dodatnog materijala sa relativnim troškovima nabavke novog alata u ovisnosti o frekvenciji izmjene alata izraženoj po ekstrudiranim kumulativnim količinama. Dijagram je prikazan na Slika 38. Na apscisi je frekvencija izmjene alata izražena preko ekstrudirane količine u MNF-ima kroz isti alat, dok se na ordinati nalaze troškovi po ekstrudiranoj količini (kn/MNF).

Krivulja troška dodatnog materijala dobivena je na slijedeći način: početkom eksploatacije novog alata za ekstrudiranje zabilježena je početna masa sirovog bloka, te je praćeno povećanje mase bloka u ovisnosti o ekstrudiranoj količini u MNF-a (porast mase promatran je nakon 3 MNF-a); relativne troškove dodatnog materijala je moguće izračunati tako da se zbroje troškovi gline, piljevine, pijeska, troškovi električne energije i troškovi prirodnog plina, te da se troškovi izraze relativno u odnosu na MNF-a (kn/MNF); troškovi sirovine i energije prate se i obračunavaju po jedinicama u pečenom stanju (stanju gotovog proizvoda), stoga, sve troškove potrebno je, u skladu s gubitkom mase u procesima sušenja i pečenja, svesti na sirovo stanje opekarskog proizvoda; relativni troškovi nabavke novog alata za

---

<sup>2</sup> MNF = milijun normalnih formata = volumna mjera staroga formata pune opeke (25,0 x 12,0 x 6,5 cm)



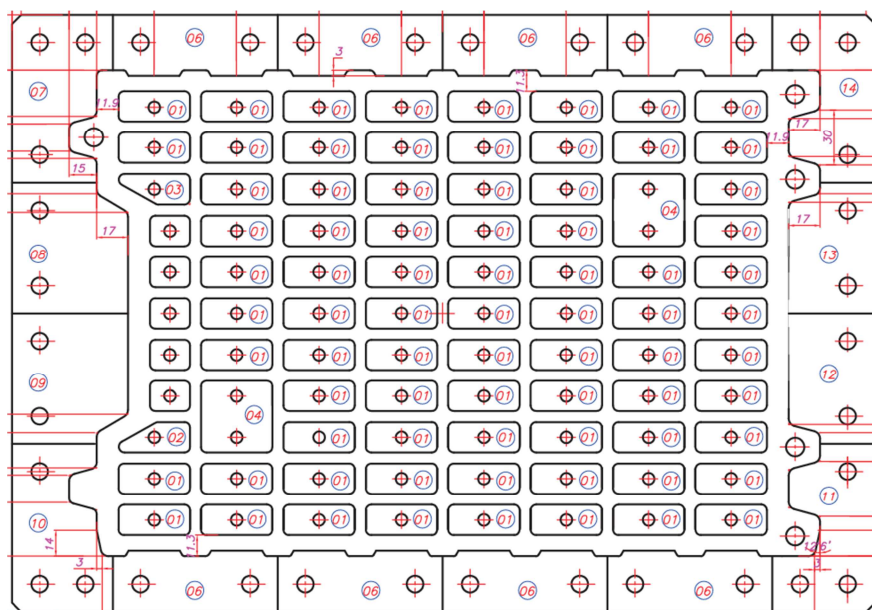
ekstrudiranje dobivaju se prikazivanjem troška nabavke alata relativno u odnosu na MNF (kn/MNF).

Može se uočiti da se relativan trošak nabavke novog alata smanjuje sa povećanjem količine koju pojedini alat treba ekstrudirati bez promjene okvira i jezgri (fiksni trošak alata se dijeli sa rastućim brojem ekstrudiranih MNF-a). Nadalje, relativan trošak dodatnog materijala (koji je tijekom prve uporabe novog alata 0 kn/MNF) naglo raste do ekstrudirane količine od 3 MNF-a (navedeni dio krivulje nije prikazan). To naglo povećanje dodatnog materijala, pa time i troškova, pripisuje se početnom uhodavanju alata kod kojega se keramičke jezgre i okviri ubrzano troše abrazivnim djelovanjem pijeska. Nakon 3 MNF-a, dodatni materijal pa time i troškovi, blago se povećavaju do ekstrudirane količine od 12 MNF-a. Alatu je nakon ekstrudiranja 12 MNF-a zamijenjen keramički okvir i jezgre. Optimum ukupnih troškova (troškova nabavke novog alata i troškova dodatnog materijala) nalazi se u području oko 7 MNF-a.

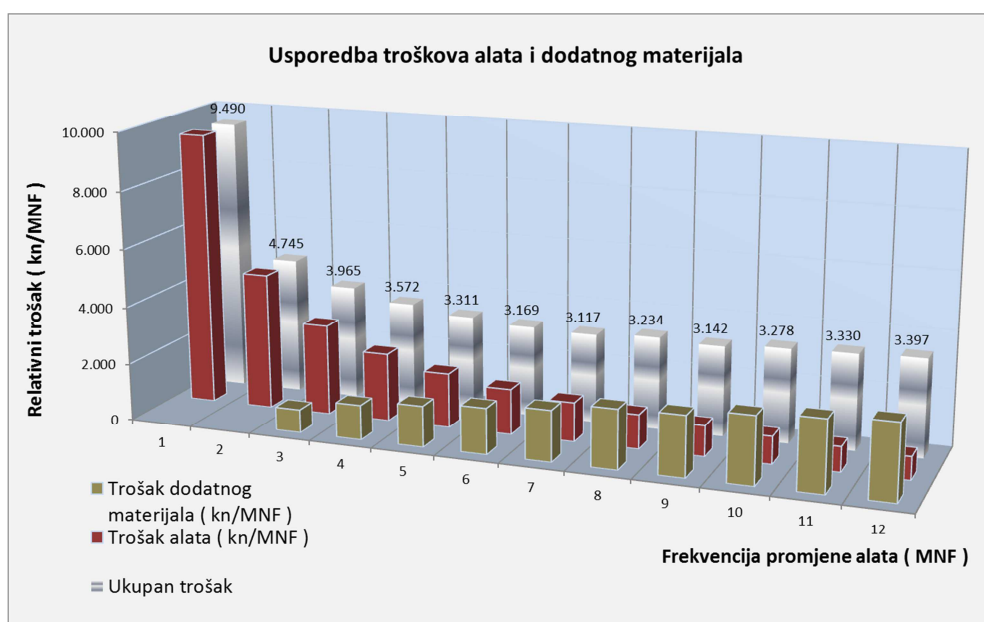
Ovakav način praćenja istrošenosti alata i izračuna troškova, omogućuje pravodobnu izmjenu potrošnih dijelova alata na temelju minimalnih direktnih i indirektnih troškova alata.



**Slika 36. Kompletan alat za ekstrudiranje opekarskih proizvoda**



**Slika 37. Potrošni dijelova alata: segmentni okvir i jezgre [16]**



**Slika 38. Usporedba troškova alata i dodatnog materijala**

Prikazani primjer optimiranja ciklusa zamjene potrošnih dijelova alata pripada skupini optimiranja procesa održavanja, putem uvođenja principa održavanja po stanju. Održavanje po stanju je veoma zahvalna koncepcija održavanja jer ujedinjuje visoku pouzdanost strojeva (zahvat se vrši prije otkazivanja funkcije stroja) i smanjenje troškova održavanja u odnosu na preventivno održavanje (zahvat se vrši kada je

potrebno izvršiti zahvat, a ne na temelju servisnog intervala, tj. nema opasnosti od nepotrebnih zahvata). Međutim, takva koncepcija iziskuje dodatna (često znatna) financijska sredstva za dijagnostičku opremu, kojom se utvrđuje stanje opreme.

U opekarskoj industriji postoji veliki broj strojeva koji se mogu održavati po stanju, a bez potrebe nabavke skupih dijagnostičkih uređaja. Takvi strojevi i njihovi dijelovi troše se preradom sirovine (imajući u vidu da je jedna od komponenti sirovine pijesak, visoko abrazivni materijal) u procesu primarne prerade i oblikovanja. Istrošenost dijelova koji se troše uslijed abrazivnosti sirovine može se vrlo lako direktno mjeriti pomičnim mjerilom (debljina plašta, debljina obloge, veličina perforacije) ili indirektno (jakost struje elektromotora, masa sirovog bloka). Taj princip optimiranja ciklusa zamjene potrošnih dijelova praćenjem stanja moguće je ostvariti na slijedećim strojevima:

- sito-drobilica,
- grubi mlin,
- fini mlin,
- sitasti dodavač,
- miješalica preše,
- preša.

Uz prikazani primjer optimiranja ciklusa izmjene alata, na preši postoji mogućnost dodatnog optimiranja potrošnje električne energije. Na Slika 39. prikazana je preša sa karakterističnim dijelovima. Izlaskom sirovinske smjese iz miješalice preše, smjesa ulazi u vakuum komoru preše gdje uz pomoć gravitacije i tlačilica ulazi u uzubine puža preše. Puž preše komprimira smjesu i aksijalno je transportira, kroz prostor između obloge preše i puža, do glave preše gdje se istiskuje tlakom od 17 bara kroz alat u procesu oblikovanja. Prolaskom sirovine kroz čitavu duljinu preše dolazi do snažne abrazije, stoga se puž, tlačilice, obloga preše (omotač između puža i kućišta preše) i razbijači (radijalni klinovi koji ulaze u uzubinu puža i pospješuju

aksijalno kretanje sirovine) ubrzano troše. Zazor između puža preše i obloge se povećava te dolazi do povećane rotacije sirovinske smjese umjesto aksijalnog kretanja uzduž puža. Operater na preši, u cilju održavanja stalne brzine ekstrudiranja, povećava broj okretaja puža pomoću frekventnog regulatora koji upravlja radom elektromotora preše. To ima za posljedicu porast jakosti struje pogonskog elektromotora puža preše, što rezultira povećanjem potrošnje električne energije, te time i povećanjem troškova električne energije. Rast potrošnje električne energije je prilično naglašeno pošto pogonski elektromotor preše ima snagu od 200 kW.

Praćenjem jakosti struje elektromotora preše, ekstrudirane količine, te uz poznavanje troškova promjene dijelova preše koji se troše, moguće je optimirati ciklus promjene potrošnih dijelova preše na potpuno identičan način kao što je prikazano za slučaj izmjene potrošnih dijelova alata.



**Slika 39. Glava preše**

## 6.2 Optimiranje procesa sušenja

Proces sušenja, zajedno s procesom pečenja najveći je potrošač energije, posebice toplinske energije. To je razlog zbog kojeg se procesi sušenja neprestano nadziru i optimiraju. Primijećeno je da u procesu sušenja pogona KA2 dolazi do čestog otvaranja ispusta toplog i vrućeg zraka cjevovoda prema sušari. Nisu postojali podaci koji bi kvantificirali ispuštanje toplog i vrućeg zraka u atmosferu. Međutim, pretpostavljalo se da ispuštene količine nisu male budući da je ukupna potrošnja prirodnog plina bila previsoka s obzirom na razinu proizvodnje. Zadatak je bio optimirati rad sušare trajnim iskorištavanjem otpadne toplinske energije, smanjiti jediničnu potrošnju energije i povećati razinu proizvodnje.

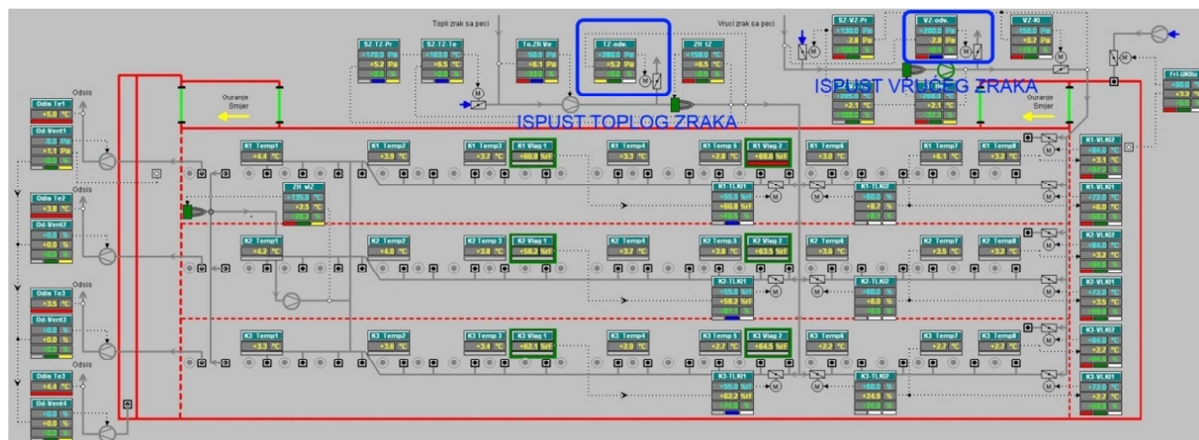
Tunelska sušara dobiva gotovo kompletnu količinu toplinske energije cjevovodima toplog i vrućeg zraka koji transportiraju topli i vrući zrak iz direktnih odsisa tunelske peći u razdjelne kanale iznad sušare. Ventilatori cjevovoda između peći i sušare su ventilatori peći, te su upravljani atmosferom unutar peći (potlak) i rade neovisno o stanju sušare. Budući da je potrebno ostvariti upravljanje karakteristikama toplog i vrućeg zraka u cilju odvijanja ispravnog procesa sušenja, svaki cjevovod posjeduje slijedeće elemente:

- žaluzinu svježeg zraka za rashlađivanje toplog i vrućeg zraka,
- cijevni plamenik za dogrijavanje toplog i vrućeg zraka,
- ispust za ispuštanje viška toplog i vrućeg zraka.

Ispusti toplog i vrućeg zraka, prikazani na Slika 40. upravljani su na temelju pretlaka unutar cjevovoda toplog i vrućeg zraka iza ventilatora. Aktiviranje ispusta događa se u slijedećim situacijama: ventilatori peći izvlače topli i vrući zrak iz tunelske peći i transportiraju ga prema sušari bez obzira na proces sušenja; ukoliko je ostvarena zadana temperatura i vlaga atmosfere unutar sušare, elektromagnetski ventili na razdjelnim kanalima toplog i vrućeg zraka su zatvoreni, zbog toga, zrak ne ulazi u sušaru; budući da ventilatori peći neprestano rade, pa dolazi do povećanja pretlaka



iza ventilatora; kada pretlak dosegne određeni nivo, dolazi do pokretanja servo motora zaklopke ispusta i ispuštanje toplog i vrućeg zraka u atmosferu.

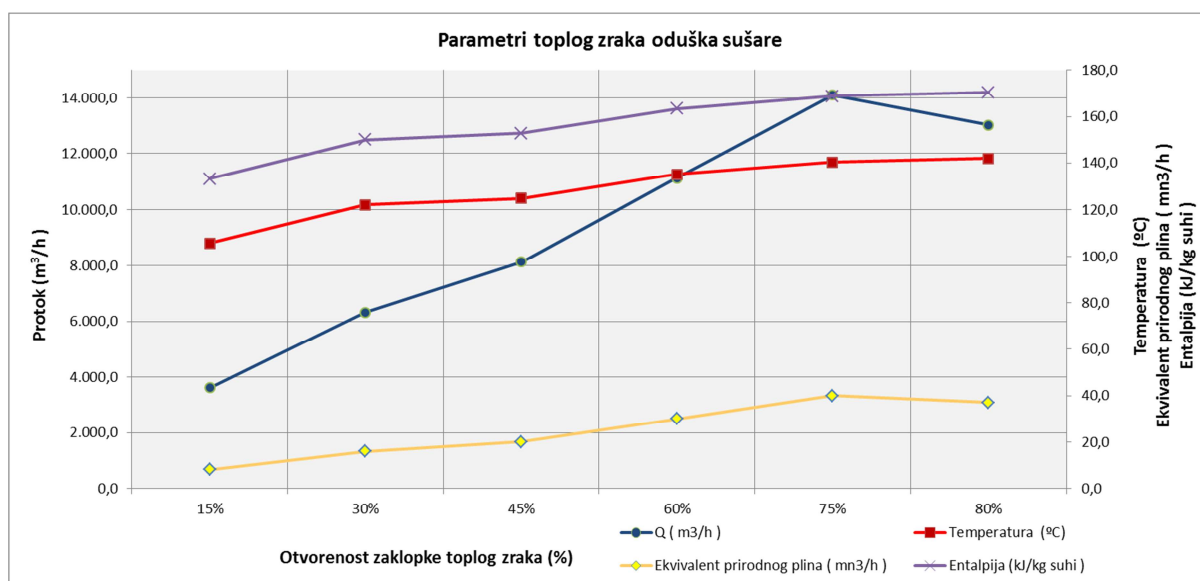


**Slika 40. Panel upravljanja sušarom KA2**

Prije početka mjerenja, čijim podacima bi se mogla kvantificirati količina ispuštenog toplog i vrućeg zraka u okoliš, servo motor ispusta toplog i vrućeg zraka stavljen je u ručni rad. Nakon toga prišlo se mjerenju protoka i temperature zraka u ovisnosti o stupnju otvorenosti zaklopke ispusta. Mjerenje je izvršeno u šest točaka otvorenosti zaklopke, uz dva ponavljanja. Na temelju izmjerenih temperatura zraka izračunata je entalpija, te uz izmjereni protok izračunata je toplinska energija koja se ispušta u atmosferu. Imajući u vidu da je u pogonu prirodni plin izvor toplinske energije, odbačena toplinska energija preračunata je u ekvivalentnu količinu prirodnog plina u normalnom stanju. Nakon svih izračuna, pristupilo se iščitavanju otvorenosti zaklopke toplog i zaklopke vrućeg zraka svakih sat vremena tijekom jednog dana, koji je prethodio mjerenju, uz automatski rad servo motora zaklopki. Podaci su pokazali da je prosječna otvorenost zaklopke ispusta toplog zraka u promatranom periodu bila 35,5 %, dok je otvorenost zaklopke vrućeg zraka bila 59,0%. Otvorenost zaklopke od 35,5% aproksimirana je sa mjerenom točkom otvorenosti od 30%, a otvorenost zaklopke od 59,0% aproksimirana je sa mjerenom točkom otvorenosti od 60%.

Tablica 3. Mjerenje ispusta toplog zraka KA2

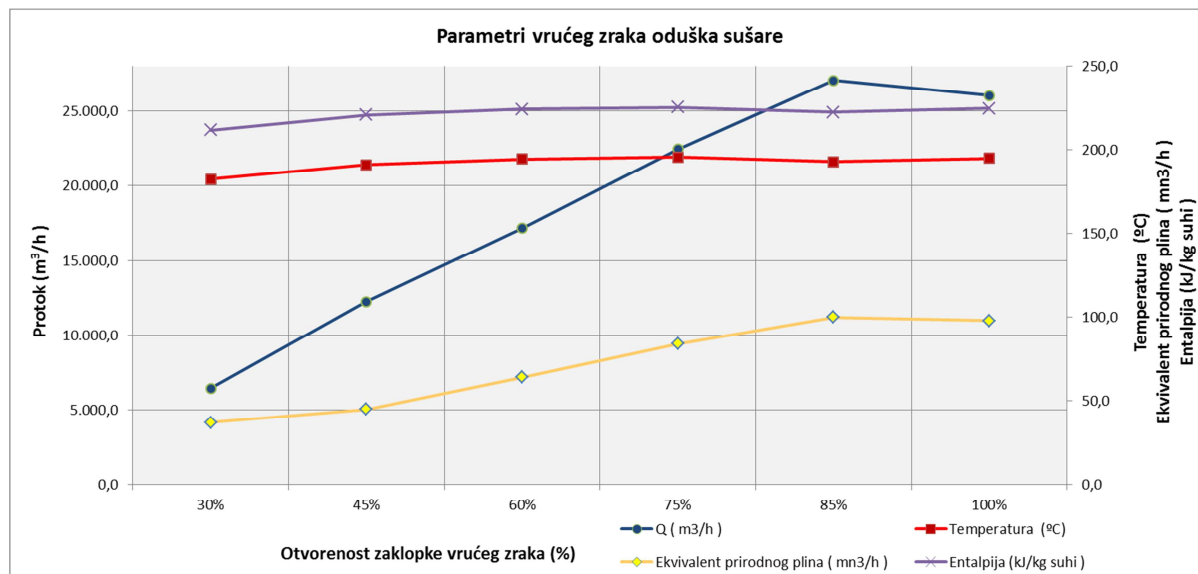
|                 |                       |                           |                           |                         |                                                             |                                      |                                      |                         |                  |                         |                   |                                                  |
|-----------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|
|                 | TEMPERATURA (°C)      | BAROMETARSKI TLAK ( hPa ) | VLAGA (g/kg suhi)         | ENTALPIJA (kJ/kg suhi ) | Energetska vrijednost prirodnog plina ( kJ/m <sub>3</sub> ) |                                      | 33.100                               |                         |                  |                         |                   |                                                  |
| OKOLIŠNI UVJETI | 32                    | 1004                      | 10                        | 57,77                   |                                                             |                                      |                                      |                         |                  |                         |                   |                                                  |
|                 |                       |                           |                           |                         | ISPUST TOPLOG ZRAKA; KA2; FERT 14;                          |                                      |                                      |                         |                  |                         |                   |                                                  |
|                 |                       |                           | Površina(m <sup>2</sup> ) | 0,5024                  |                                                             |                                      |                                      |                         |                  |                         |                   |                                                  |
| R.b.            | Otvorenost klapne (%) | Brzina mj.1. ( m/s )      | Brzina mj.2. ( m/s )      | Temperatura mj.1. (°C)  | Temperatura mj.2. (°C)                                      | Q <sub>1</sub> ( m <sup>3</sup> /h ) | Q <sub>2</sub> ( m <sup>3</sup> /h ) | Q ( m <sup>3</sup> /h ) | Temperatura (°C) | Entalpija (kJ/kg suhi ) | Energija ( kJ/h ) | Ekvivalent prirodnog plina ( m <sub>3</sub> /h ) |
| 1               | 15%                   | 2,6                       | 1,4                       | 103,7                   | 107,5                                                       | 4.702,46                             | 2.532,10                             | 3.617,3                 | 105,6            | 133,14                  | 250.217           | 8                                                |
| 2               | 30%                   | 3,6                       | 3,4                       | 119,0                   | 125,0                                                       | 6.511,10                             | 6.149,38                             | 6.330,2                 | 122,0            | 149,93                  | 513.228           | 16                                               |
| 3               | 45%                   | 4,5                       | 4,5                       | 123,5                   | 125,9                                                       | 8.138,88                             | 8.138,88                             | 8.138,9                 | 124,7            | 152,70                  | 675.048           | 20                                               |
| 4               | 60%                   | 6,9                       | 5,4                       | 134,2                   | 135,9                                                       | 12.479,62                            | 9.766,66                             | 11.123,1                | 135,1            | 163,35                  | 999.930           | 30                                               |
| 5               | 75%                   | 8,0                       | 7,6                       | 139,7                   | 140,8                                                       | 14.469,12                            | 13.745,66                            | 14.107,4                | 140,3            | 168,68                  | 1.315.413         | 40                                               |
| 6               | 80%                   | 7,4                       | 7,0                       | 140,1                   | 143,7                                                       | 13.383,94                            | 12.660,48                            | 13.022,2                | 141,9            | 170,31                  | 1.227.416         | 37                                               |



Slika 41. Parametri ispusta toplog zraka KA2

Tablica 4. Mjerenje ispusta vrućeg zraka KA2

|      |                       | Površina(m <sup>2</sup> ) |                      | 0,5671625              |                        |                                      |                                      |                         | ISPUST VRUĆEG ZRAKA; KA2; FERT 14; |                         |                   |                                                  |
|------|-----------------------|---------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|
| R.b. | Otvorenost klapne (%) | Brzina mj.1. ( m/s )      | Brzina mj.2. ( m/s ) | Temperatura mj.1. (°C) | Temperatura mj.2. (°C) | Q <sub>1</sub> ( m <sup>3</sup> /h ) | Q <sub>2</sub> ( m <sup>3</sup> /h ) | Q ( m <sup>3</sup> /h ) | Temperatura (°C)                   | Entalpija (kJ/kg suhi ) | Energija ( kJ/h ) | Ekvivalent prirodnog plina ( m <sub>3</sub> /h ) |
| 1    | 30%                   | 3,1                       | 3,2                  | 177,9                  | 186,9                  | 6.329,53                             | 6.533,71                             | 6.431,6                 | 182,4                              | 211,79                  | 1.227.416         | 37                                               |
| 2    | 45%                   | 5,9                       | 6,1                  | 188,7                  | 193,7                  | 12.046,53                            | 12.454,89                            | 12.250,7                | 191,2                              | 220,80                  | 1.495.194         | 45                                               |
| 3    | 60%                   | 8,5                       | 8,3                  | 191,8                  | 197,3                  | 17.355,17                            | 16.946,82                            | 17.151,0                | 194,6                              | 224,28                  | 2.122.436         | 64                                               |
| 4    | 75%                   | 10,9                      | 11,1                 | 194,8                  | 196,6                  | 22.255,46                            | 22.663,81                            | 22.459,6                | 195,7                              | 225,41                  | 2.791.619         | 84                                               |
| 5    | 85%                   | 12,9                      | 13,6                 | 197,0                  | 188,7                  | 26.339,03                            | 27.768,28                            | 27.053,7                | 192,9                              | 222,54                  | 3.324.973         | 100                                              |
| 6    | 100%                  | 13,2                      | 12,3                 | 194,6                  | 195,5                  | 26.951,56                            | 25.113,96                            | 26.032,8                | 195,1                              | 224,80                  | 3.228.011         | 98                                               |



**Slika 42. Parametri ispusta vrućeg zraka KA2**

Mjerenja su pokazala:

- prosječna otvorenost zaklopke ispusta toplog zraka u promatranom vremenskom periodu bila je 35,5 %; uz odabranu otvorenost 30% kroz zaklopku ispušta se 6 330 m<sup>3</sup>/h toplog zraka, energetske vrijednosti 513 228 kJ/h ili 16 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h prirodnog plina (Tablica 3.) (Slika 41.),
- prosječna otvorenost zaklopke ispusta vrućeg zraka u analiziranom vremenskom periodu bila je 59,0 %; uz odabranu otvorenost 60% kroz zaklopku ispušta se 17 151 m<sup>3</sup>/h vrućeg zraka, energetske vrijednosti 2 122 436 kJ/h ili 64 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h prirodnog plina (Tablica 4.) (Slika 42.),
- kroz obje zaklopke ispušta se 23 481 m<sup>3</sup>/h toplog i vrućeg zraka, energetske vrijednosti 2 635 664 kJ/h ili 80 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h prirodnog plina (ili 1920 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/dan).

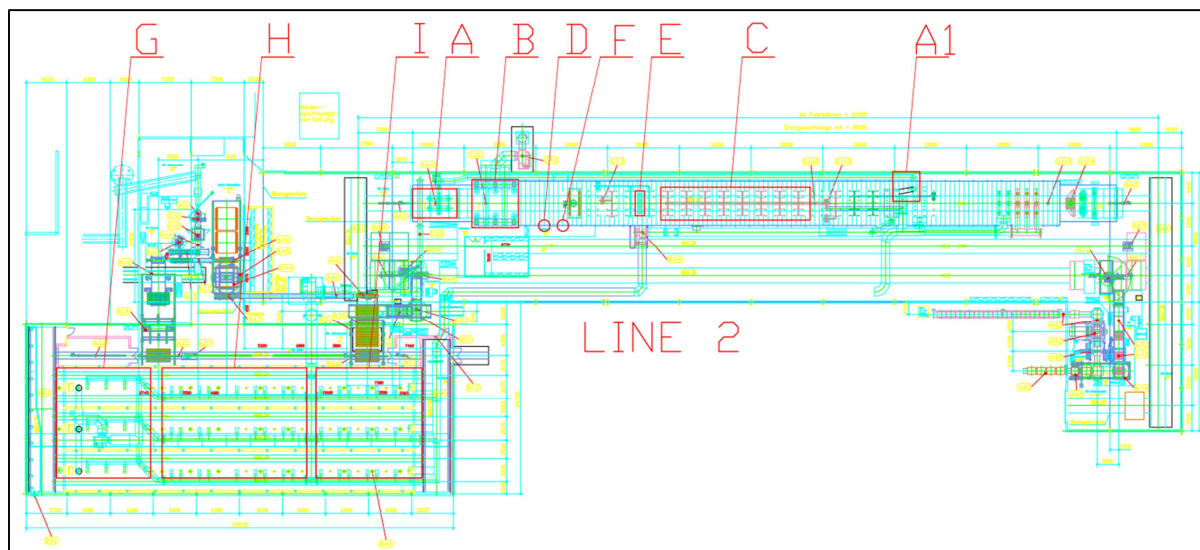
Analiza je trebala dati odgovor na pitanje kako korisno iskoristiti odbačenu toplinsku energiju. Očito je bilo da tunelska peć hlađenjem pečene robe generira previše topline, koju tunelska sušara ne može u potpunosti iskoristiti. Smanjenje protoka toplog i vrućeg zraka iz tunelske peći prema sušari nije bila ni u jednom trenutku opcija jer bi time bila ozbiljno narušena sigurnost rada tunelske peći. Predložene su slijedeće rješenja iskorištavanja otpadne topline ispusta toplog i vrućeg zraka:



- povećavanje proizvedenih količina procesa sušenja; ideja je bila povećati protok sirove robe kroz sušaru; time bi se povećala potreba za toplinskom energijom u procesu sušenja, pa ne bi došlo do otvaranja ispusta toplog i vrućeg zraka; međutim, bez povećanja pečene proizvodnje problem otpadne topline ipak se ne može riješiti, jer bi povećanje samo suhe proizvodnje dovelo do gušenja pečene proizvodnje koja ne bi mogla pratiti suhu proizvodnju; naposljetku, proces sušenja postupno bi se usporavao do početne razine proizvodnje,
- promjene parametara sušenja; značajne promjene parametara procesa sušenja nisu moguće, ali, moguće su manje korekcije zadanih temperatura atmosfere unutar sušare, kao i temperature recirkulacije vlažnog zraka i dinamike stezanja,
- dograđivanje i povećanje prostora pretkomore tunelske peći i dovođenje otpadne topline u taj prostor, u cilju boljeg predgrijavanja robe i konstrukcije vagona prije ulaska u peć,
- iskorištavanje otpadne topline za zagrijavanje uredskih prostora,
- iskorištavanje otpadne topline za predgrijavanje napojne vode parnog kotla.

Valorizacija predloženih rješenja pokazala je da je podizanje razine suhe proizvodnje, uz istodobno optimiranje i dizanje razine pečene proizvodnje, najbolji način minimiziranja toplinskih gubitaka zbog nemogućnosti sušare da iskoristi svu toplinsku energiju koju generira tunelska peć sustavom hlađenja proizvoda.

Zahvati koje je bilo potrebno napraviti, zbog izrazito visoke međuovisnosti procesa sušenja i pečenja, bili su brojniji na strani procesa pečenja, te su prikazani na Slika 43.



**Slika 43. Mjesta zahvata optimiranja procesa sušenja i pečenja**

Poboljšavanje procesa sušenja i pečenja uključivalo je slijedeće aktivnosti:

- A – povećanje temperature predkomore tunelske peći zaklopkom A1,
- B – postizanje jednolikog profila strujanja dimnih plinova unutar vatrenog kanala regulacijom zasuna dimnih otvora,
- C – optimiranje temperaturnog režima pečenja u vatrenom kanalu tunelske peći i povećavanje temperature zraka za izgaranje injektorskih plamenika,
- D – efikasnija kontrola temperature u podrumu peći,
- E – uvođenje prisilnog hlađenja tavanice tunelske peći ventilatorom s frekventnim pretvaračem,
- F – uspostavljanje kontrole temperature tavanice tunelske peći,
- G – promjena režima rada plamenika recirkulacije vlažnog zraka u cilju maksimalnog iskorištenja dobivenog toplog i vrućeg zraka iz tunelska peći,
- H – minimizirano otvaranje zaklopke ispusta toplog zraka,
- I – minimizirano otvaranje zaklopke ispusta vrućeg zraka,

J – smanjenje mase gotovog proizvoda.

Nakon implementacije poboljšanja slijedila je kontinuirana kontrola rezultata i određivanje stupnja izvršenja zadanih ciljeva za tekuću godinu. Nakon što se pokazalo da implementirane mjere daju rezultate daleko iznad očekivanja, sve mjere su dokumentirane, procedure su napisane kako bi se osiguralo provođenje mjera na identičan način i u budućnosti.

Ostvareni rezultati su slijedeći:

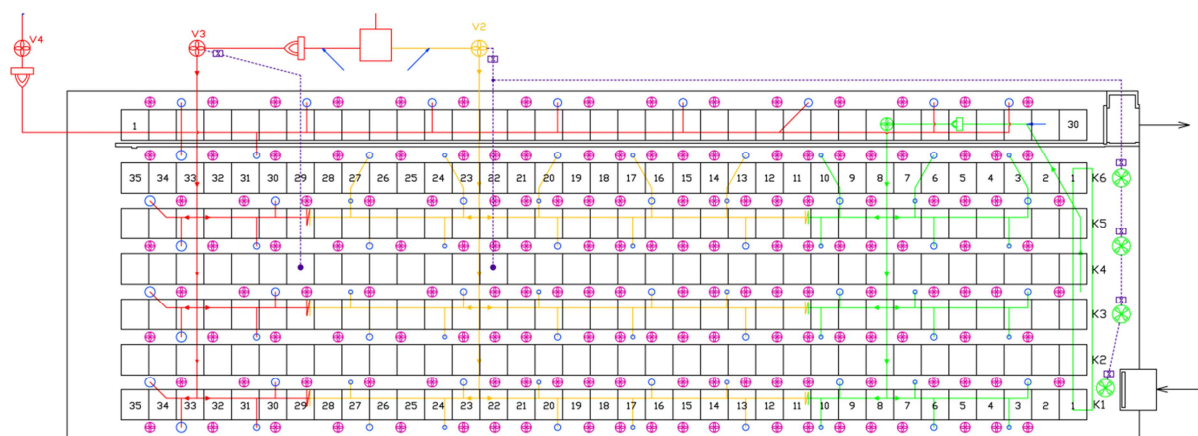
- ostvarenje budžeta se povećalo 19%,
- ostvarenje kapaciteta se povećalo 13%,
- potrošnja prirodnog plina je pala 15%,
- potrošnja električne energije se smanjila 6%.

Unapređenja u procesu proizvodnje nisu ograničena samo na promjene tehnoloških parametara, instaliranih uređaja i opreme, korištenja energije i sl. Kalkulator promjene formata je praktičan primjer kako automatski izračun gubitaka ili dobitaka kapaciteta u procesima sušenja i pečenja, u obliku tabličnog izračuna Microsoft Excel-a, može pomoći u svakodnevnom određivanju redoslijeda izmjene formata u skladu sa planom proizvodnje.

Odjel prodaje odašilje odjelu proizvodnje potrebe za određenim opekarskim proizvodom u slijedeća tri mjeseca. Na temelju toga izrađuje se plan proizvodnje. Nažalost, uslijed loše prognoze prodajnog odjela ili zbog situacije na tržištu, plan proizvodnje se katkad mora dnevno revidirati. Svaka promjena formata u proizvodnji, planirana ili ne, predstavlja udar na kontinuitet proizvodnje, ostvareni kapacitet, budžet i proizvodne troškove. Planirana promjena formata proizvoda je manji udar na proizvodnju iz razloga jer vodstvo proizvodnje ima vremena organizirati optimalni redoslijed promjene formata, moguće je format proizvoda usuglasiti sa vremenskim prilikama tako da se zahtjevni formati proizvode u vrijeme bez padalina.

U gotovo svakoj industrijskoj proizvodnji promjenu proizvoda povezuje se sa izgubljenim vremenom, padom kapaciteta i slično. To osobito vrijedi u procesnoj industriji, kao i u industriji opekarskih proizvoda koja ima neke značajke procesne industrije. U klasičnoj industrijskoj proizvodnji gubitak vremena uslijed promjene proizvoda svodi se na vrijeme izmjene alata.

U proizvodnji opekarskih proizvoda promjena alata i aktivnosti povezane sa promjenom traju 30-tak minuta, te obično ne rezultiraju nepovratnim gubitkom vremena i padom kapaciteta. Međutim, promjena formata opeke generira brojne poteškoće u procesu pečenja i posebice u procesu sušenja. Slika 44. prikazuje tlocrt sušare KA3. Prilikom promjene formata proizvoda u sušari se istodobno nalaze dva različita formata. Svaki format ima vlastite važne karakteristike za proces sušenja kao što su: broj etaža na vagonu sušare, broj komada opeke na vagonu sušare, slobodan prostor među komadima opeke, strujanje toplog zraka između i kroz blokove, protok sirove mase kroz sušaru itd. S druge strane, vođenje procesa sušenja moguće je samo za jedan format. Dakle, prelazno vođenje procesa sušenja mora biti prilagođeno sporijem ili „osjetljivijem“ formatu proizvoda. To je uzrok pojave da je gubitak vremena prilikom promjene formata zbog tehnoloških uzroka mnogo veći od vremena promjene alata.



**Slika 44. Tlocrt sušare KA3**

Kalkulator promjene formata, prikazan na Slika 45., prikladan je alat u obliku tabličnog izračuna koji odabirom određene kombinacije starog i novog formata (plavi okvir izračuna) automatski računa gubitak ili dobitak vremena u procesima sušenja i

pečenja, povećanje ili smanjenje pečene proizvodnje (crveni okviri izračuna). Takav izračun veoma je koristan u uvjetima kada vodstvo proizvodnje mora u relativno kratkom roku napraviti optimalan redoslijed promjena formata u proizvodnji.

Za navedeni primjer (format PTH 30 S PLUS zamjenjuje format PTH 25 S) može se iščitati da će doći do velikih vremenskih gubitaka u procesu sušenja (264 minute) zbog velikih razlika u brzini sušenja, te da mora postojati znatna rezerva suhe robe na vagonima ispred peći (10 vagona peći) kako ne bi došlo do pada kapaciteta cjelokupne linije. Nadalje, novi format PTH 30 S PLUS brže putuje kroz peć i izgurava sporiji format PTH 25 S brzinom bržeg formata, nakon što sporiji format prođe zonu pečenja. Na taj način dolazi se do dobotka vremena od 34 minute, ekvivalentna 1,3 vagonu peći ili povećanju proizvodnje od 2,4%.

| KALKULATOR PROMJENE FORMATA |               | kom/VS | kg/dan sirove | VS/dan | prog. sušenja | Interval guranja VS (min) | kom/VP | VP/dan | Interval guranja VP (min) | kg/dan pečene |
|-----------------------------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|---------------------------|--------|--------|---------------------------|---------------|
| FORMAT STARI                | PTH 25 S      | 162    | 769.387       | 225    | 8             | 6,400                     | 640    | 55     | 26,182                    | 530.675       |
| FORMAT NOVI                 | PTH 30 S PLUS | 216    | 703.357       | 189    | 1             | 7,619                     | 672    | 58     | 24,828                    | 481.276       |

|                            |                                                                                     |                                                                                           |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |        |                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| S<br>U<br>Š<br>A<br>R<br>A | 1.                                                                                  | Preša - vrijeme izmjene alata ( min )                                                     | -30,000  | Napomena : + je dobitak vremena ( min ) ; - je gubitak vremena ( min )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  |
|                            | 2.a                                                                                 | Gubitak/dobitak vremena zbog različitog guranja kroz sušaru ( min ) --> teorijski pristup | -255,990 | TEORIJSKI PRISTUP--> <b>a)</b> sporiji format izgurava brži format sa brzinom sporijeg formata kroz cijelu sušaru ; <b>b)</b> brži format izgurava sporiji format sa brzinom sporijeg formata do kraja 35 pozicije ( kraj sušare ), kad sporiji format udje u povratni kanal ( završeno stezanje ) izgurava se brzinom bržeg formata                                                                                                                                    |        |                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  |
|                            | 2.b                                                                                 | Gubitak/dobitak vremena zbog različitog guranja kroz sušaru ( min ) --> stvarni princip   | -234,048 | STVARNI PRINCIP--> <b>a)</b> sporiji format izgurava brži format sa brzinom sporijeg formata kroz cijelu sušaru ; <b>b)</b> brži format izgurava sporiji format sa brzinom sporijeg formata do kraja 32 pozicije, nakon koje je stezanje gotovo, nakon toga može se izguravati brzinom bržeg formata ( <i>Opasnost je mogućnost da se sporiji format ne osuši dovoljno do kraja 32 pozicije, tada su moguće pukotine sušare do 35 pozicije ili u povratnom kanalu</i> ) |        |                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  |
|                            | SUMA SUŠARA ( min )                                                                 |                                                                                           | -264,048 | ili                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 10,085 | Vagona peći mora biti ispred predgrijača peći kako nebi došlo do gubitka kapaciteta na pečenoj strani zbog guranja u sušaru                                                            |  |  |  |  |
|                            | DOBITAK - rast akumulacije VP pred predgrijačem prilikom izgurivanja starog formata |                                                                                           | 0,0      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 5,164  | Dana se mora proizvoditi stari format, bez zastoja na preši i sušari da bi se stvorila dovoljna zaliha za izmjenu formata bez pada kapaciteta proizvodnje zbog promjene formata sušare |  |  |  |  |

|             |                  |                                                                                        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |     |      |  |  |  |
|-------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|------|--|--|--|
| P<br>E<br>Ć | 2.a              | Gubitak/dobitak vremena zbog različitog guranja kroz peć ( min ) --> teorijski pristup | 24,372 | TEORIJSKI PRISTUP--> <b>a)</b> sporiji format izgurava brži format sa brzinom sporijeg formata kroz cijelu peć ; <b>b)</b> brži format izgurava sporiji format sa brzinom sporijeg formata do kraja 32 pozicije (poslije brzog hlađenja), nakon toga izgurava se brzinom bržeg formata ( brzine se postupno povećavaju ovisno o razlici brzina )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |     |      |  |  |  |
|             | 2.b              | Gubitak/dobitak vremena zbog različitog guranja kroz peć ( min ) --> stvarni princip   | 33,850 | STVARNI PRINCIP--> <b>a)</b> sporiji format izgurava brži format sa brzinom bržeg formata do kraja pozicije 11 ( početak HG brenera ), nakon toga izgurava se brzinom sporijeg formata ( <i>Opasnost je slabije predgrijavanje sporijeg formata od ulaza peći do kraja pozicije 11., nastanak redukcijских mrlja, opasnost od pukotina predgrijavanja</i> ) ; <b>b)</b> brži format izgurava sporiji format sa brzinom sporijeg formata do kraja 25 pozicije (zadnji dio pečenja), nakon toga izgurava se brzinom bržeg formata ( <i>Opasnost je kraće vrijeme pečenja sporijeg formata, te opasnost veće količine finih pukotina koje nastaju na brzom hlađenju</i> ) |      |     |      |  |  |  |
|             | SUMA PEĆ ( min ) |                                                                                        | 33,850 | DOBITAK VP/promjeni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1,29 | ili | 2,4% |  |  |  |

Slika 45. Kalkulator promjene formata

Iz kalkulatora je moguće iščitati još jednu važnu činjenicu. Naime, proces sušenja pri promjeni formata rezultira gubitkom vremena koji se kompenzira povećanom akumulacijom između procesa sušenja i pečenja. Očito, u prikazanom pogonu tunelska peć je usko grlo sustava.

### 6.3 Optimiranje procesa pečenja

Iako je svaki pojedini proces u proizvodnji opekarskih proizvoda važan, može se ipak reći da je proces pečenja u mnogočemu ključan. Procesom pečenja proizvod poprima svoja konačna svojstva kao što su: mjere, tlačna čvrstoća, boja, upijanje vode. Povrh toga, tunelska peć je mjesto gdje se generira preko 90 % ukupne toplinske energije, pa su mogućnosti optimiranja poprilične. Spomenuti podatak posebice dobiva na težini ako se navede podatak da tunelska peć za pečenje opeke ima uobičajeno 10 – 20 MW instalirane toplinske snage.

Ciljevi koji su bili postavljeni uključivali su optimiranje procesa pečenja opekarskih proizvoda smanjenjem jedinične potrošnje prirodnog plina i povećanjem kvalitete pečenih proizvoda smanjenjem redukcijskih mrlji i uspostavljanjem jednoličnog režima pečenja po cijelom poprečnom presjeku tunelske peći. Nadalje, trebalo je ispitati mogućnost podizanja volumena pečene proizvodnje i predložiti prikladno tehničko rješenje.

Valja imati na umu da instalirana stacionarna dijagnostička oprema, koja se upotrebljava u procesu upravljanja radom tunelske peći (sonde temperature), mjeri stanje atmosfere unutar tunelske peći samo u području 1 – 2 cm ispod tavanice. Imajući u vidu da je vatreni kanal uobičajeno visine 2 metra, razvidno je da stacionarne sonde temperature ne mogu mjeriti temperaturna stanja opeke već samo temperaturu atmosfere vrha vatrene kanala. Nadalje, sonde temperature ne daju kontinuirani pregled režima pečenja uzduž cijele peći zbog ograničenog broja spomenutih sondi, niti u poprečnoj ravnini zbog činjenice da su sonde temperature instalirane u osi tunelske peći. Zbog svega navedenog, trebalo je osmisлити metodu direktnog i kontinuiranog mjerenja temperaturnih režima opeke duž cijele tunelske

peći i u ravnini poprečnog presjeka peći. Osmišljena metoda mjerenja je mjerni vagon.

Mjerni vagon je daleko najvažnija dijagnostička metoda za mjerenje režima procesa pečenja. Mjeri se izravno temperaturna stanja opeke uzduž cijele peći, na svim pozicijama vagona, kao i u dvije radijalne osi tunelske peći.

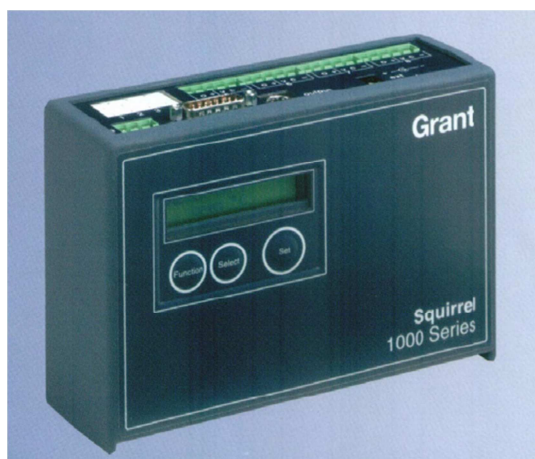
Dijagnostička oprema koja je potrebna za proces mjerenja mjernog vagona tunelske peći je slijedeća:

- snimač podataka (eng. „data logger“) Squirrel SQ1000,
- zaštitno kućište snimača podataka,
- sonde temperature NiCr-Ni (16 kom),
- spojni kabel za sučelje RS232C,
- Grant-filewise softver za prijenos podataka s snimača na kompjuter.

Snimač podataka Squirrel SQ1000 je uređaj koji mjeri i pohranjuje podatke dobivene od različitih vrsta sondi, te je upotrebljiv za brojne primjene u područjima industrije, znanosti i istraživanja. Uređaj, prikazan na Slika 46., relativno je malih dimenzija (180 x 120 x 60 mm), težine 1 kg, sa vlastitim izvorom napajanja, stoga je mobilan, te se može upotrebljavati u sustavima koji se gibaju. Postoje priključci za 16 temperaturnih sondi (tip K), te je moguće istovremeno mjeriti i pohranjivati u memoriju dobivene rezultate sa svih 16 sondi. Uređaj ima mogućnost spajanja sa računalom preko RS232 porta. Stoga, moguće je sve pohranjene podatke sa uređaja pohraniti na računalo. Način podešavanja i programiranja je krajnje jednostavan:

- podešavanje i programiranje se vrši pritiskanjem samo tri gumba,
- za svaki mjerni kanal (16 kanala) potrebno je odrediti mjerno područje ( $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$ ),

- definira se vrijeme intervala i vrijeme uzorkovanja (npr. uz interval 30 sekundi i uzorkovanje 5 sekundi → svakih 5 sekundi se mjeri temperatura, te nakon 30 sekundi računa se prosjek izmjerenih temperatura (6 mjerenja) koji se konačno pohranjuje u memoriju uređaja),
- mogućnost jednostavne provjere veličine slobodne memorije uređaja i napona napajanja uređaja,
- mogućnost vremenskog zadavanja početka i završetka mjerenja (vrijeme početka, vrijeme završetka) ili temperaturnim okidačem (npr. mjerenje počinje kad mjerna sonda kanala 5. dostigne temperaturu 80°C).



**Slika 46. Snimač podataka Squirrel 1000**

Zaštitno kućište Bacher&Schmidt, prikazano na Slika 47., ima funkciju zaštite elektroničke opreme (u ovom slučaju snimača podataka Squirrel) od mehaničkih oštećenja i funkciju hlađenja. Naime, u kućištu se nalazi uložak sa tekućinom koja isparava pri relativno niskim temperaturama, pa uložak tako omogućuje konstantnu temperaturu isparavanja u samom kućištu i čuva električnu opremu od povišenih temperatura. Unutar kućišta nalaze se priključci koji se spajaju na snimač podataka Squirrel SQ1000, dok se na vanjskoj strani kućišta nastavljaju silikonski kablovi za prihvrat NiCr-Ni temperaturnih sondi.





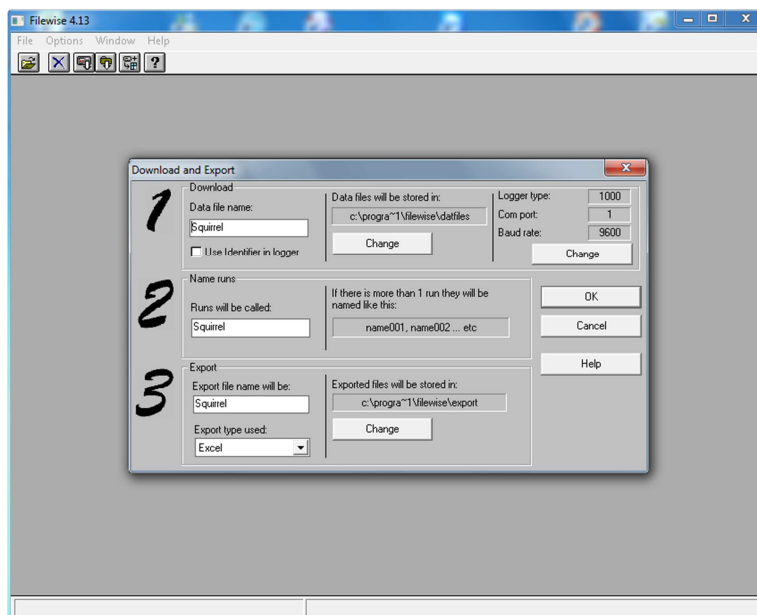
**Slika 47. Zaštitno kućište Bacher&Schmidt**

Sonda temperature NiCr-Ni (termopar), prikazana na Slika **48.**, temperaturna je sonda koja se sastoji od dva materijala (NiCr i Ni) koji su spojeni na jednom kraju (mjesto mjerenja temperature), dok drugi kraj nije međusobno spojen. Princip rada temelji se na termo-električnom efektu, tj. pojavi kada se kraj senzora sa spojenim različitim materijalima izloži povećanoj temperaturi, dolazi do pojave električnog napona na otvorenom dijelu sonde. Iznos električnog napona na otvorenom dijelu sonde je funkcija temperature zatvorenog dijela sonde, pa se uređajem za mjerenje napona može očitati temperatura.



**Slika 48. Sonda temperature NiCr-Ni**

Grant-filewise je vremešan softver, prikazan na Slika 49., kojim se podaci mjerenja iz uređaja Squirrel SQ1000 mogu prebaciti na računalo, te eksportirati u excel format. Softver ne pruža nikakvu mogućnost analize i obrade podataka mjerenja, već je to potrebno napraviti u Microsoft Excel-u.



**Slika 49. Grant-filewise softver**

Proces mjerenja započinje pripremanjem svih uređaja i alata koji su potrebni za provođenje samog mjerenja, provjeru ispravnosti opreme i električnog napajanja uređaja. Uz navedene dijagnostičke uređaje treba osigurati uobičajene alate i pomoćna sredstva kao što su: ljestve (tip A), bušilica, izolaciona traka, markeri, žica za učvršćenje sonde temperature, lampe i sl.

Treba, također, osigurati odvajanje iz proizvodnog procesa odgovarajućeg vagona tunelske peći i njegovo premještanje, nakon što je prošao proces slaganja suhe opeke, na rezervni kolosijek u cilju osiguranja uvjeta za nesmetanu instalaciju mjerene opreme. Naime, obično je samo jedan vagon tunelske peći pripremljen za instalaciju mjerne opreme, odnosno izbušene su rupe u šamotnoj podnici vagona za prihvrat temperaturnih sonde, te je napravljena konstrukcija za prihvrat zaštitnog kućišta mjernog uređaja ispod vagona.

Nadalje, potrebno je provjeriti plan proizvodnje kako ne bi došlo do promjene formata za vrijeme mjerenja (20 - 24 sata), jer promjena formata predstavlja veliki udar na parametre procesa pečenja, zbog čega, mjerenje ne bi dalo valjane podatke.

Također, potrebno je osigurati da je akumulacija punih vagona peći ispred peći puna, jer ta akumulacija otklanja mogućnost prenošenja zastoja sa sirove i suhe proizvodnje na proces pečene proizvodnje. Zastoji i nepravilnosti u radu peći za vrijeme samog mjerenja rezultirati će nereprezentativnim i neispravnim podacima.

Ovisno o konstrukciji peći, konstrukciji vagona i vrsti šinske prijevoznice mjesto instaliranja dijagnostičke opreme na vagon peći može biti na slijedećim mjestima:

- rezervnom kolosijeku → najbolje mjesto za instalaciju, postoji dovoljan manipulativni prostor, ne postoje vremenska ograničenja instaliranja dijagnostičke opreme,
- ispred predgrijača peći → u slučaju da zaštitno kućište onemogućuje navlačenje i izguravanje vagona tunelske peći sa šinske prijevoznice vagona, vremenski okvir za instalaciju je znatno sužen jer ne smije doći do kašnjenja u potiskivanju kompozicije,
- u podrumu peći → najzahtjevnija instalacija dijagnostičke opreme, u slučaju kad postoje prepreke u predgrijaču peći koje onemogućuju nesmetano kretanje mjernog vagona (kočnice, izbočenja, sonde), teški uvjeti rada zbog kretanja kompozicije vagona i zbog rada u atmosferi povećane temperature (40 - 50°C).

Raspored mjesta postavljanja sonde temperature na vagon tunelske peći određen je u skladu s internim standardom, prikazanim u Tablica 5. Na Slika 50. prikazan je mjerni vagon tunelske peći sa instaliranom mjernom opremom.

**Tablica 5. Raspored sonde temperature na mjernom vagonu**

| Broj sonde | Predmet mjerenja       | Položaj sonde   |
|------------|------------------------|-----------------|
| sonda 1    | materijal              | lijevo-dolje    |
| sonda 2    | materijal              | lijevo-sredina  |
| sonda 3    | materijal              | lijevo-gore     |
| sonda 4    | materijal              | sredina-dolje   |
| sonda 5    | materijal              | sredina-sredina |
| sonda 6    | materijal              | sredina-gore    |
| sonda 7    | materijal              | desno-dolje     |
| sonda 8    | materijal              | desno-sredina   |
| sonda 9    | materijal              | desno-gore      |
| sonda 10   | atmosfera u peći       | lijevo-dolje    |
| sonda 11   | atmosfera u peći       | lijevo-gore     |
| sonda 12   | atmosfera u peći       | sredina-dolje   |
| sonda 13   | atmosfera u peći       | sredina-gore    |
| sonda 14   | atmosfera u peći       | desno-dolje     |
| sonda 15   | atmosfera u peći       | desno-gore      |
| sonda 16   | atmosfera ispod vagona | ispod vagona    |

Nakon odrađenih priprema za mjerenje, može se početi s instaliranjem dijagnostičke opreme i mjerenjem temperatura tunelske peći. Proces se odvija kako slijedi:

- 1) bušenje rupa u stjenkama opeke za umetanje sonde temperature (mjerenje temperature materijala),
- 2) bušenje rupa za fiksiranje sonde temperature,
- 3) označavanje sonde temperature, te provlačenje sonde kroz šamotnu podnicu vagona peći,
- 4) razmještanje sonde na vagonu peći prema rasporedu, sonde za mjerenje temperature materijala se ulažu u pripremljene rupe u stjenkama opeke, sonde za mjerenje temperature se postavljaju izvan opeke,
- 5) sonde se osiguravaju od pomicanja vezanjem sa žicom,
- 6) snimač podataka Squirrel SQ1000 povezuje se sa unutarnjim konektorima zaštitnog kućišta Bacher&Schmidt, dok se vanjski konektori spajaju sa slobodnim krajevima sonde temperature ispod vagona,

- 7) provjerava se je li snimač podataka prima signale svih 16 sonde temperature, te ukoliko to provjera potvrdi, pokreće se snimanje podataka, uređaj se ulaže u zaštitno kućište i kućište se zatvara,
- 8) zaštitno kućište s mjernim uređajem fiksira se na nosače, te se svi kablovi i sonde fiksiraju uz gornju stranu podnice vagona kako ne bi došlo do zapinjanja istih sa različitim elementima unutar peći,
- 9) mjerni vagon se izgurava u peć, te se bilježi vrijeme ulaska u peć,
- 10) mjerni vagon putuje kroz peć zajedno s kompozicijom i snima temperature materijala i atmosfere u svim dijelovima peći,
- 11) izlaskom mjernog vagona iz peći, bilježi se vrijeme izlaska iz peći, demontira se sva oprema, prekida se snimanje temperatura,
- 12) očitavaju se vremena pogurivanja kompozicije kroz peć iz kompjutera upravljanja tunelskom peći; kod kasnije analize podataka potrebno je znati točan položaj mjernog vagona u određenom trenutku (npr. mjerni vagon je bio na mjestu 17 od 11:25 do 11:42); drugim riječima, položaj mjernog vagona je funkcija vremena,
- 13) snimač podataka Squirrel SQ1000 povezuje se s računalom, iščitavaju se podaci, te se pohranjuju u računalu u excel formatu,
- 14) podaci dobiveni mjerenjem se grafički prikazuju, zatim se analiziraju i konačno se predlažu rješenja za otklanjanje uočenih nepravilnosti i nedostataka.











**Slika 50. Raspored instaliranih sonde temperature**

Mjerenje parametara održavanja procesa pečenja opekarskih proizvoda (mjerni vagon) izvršeno je 21.03.2011. u pogonu KA3 na referentnom formatu PTH 25. Mjerni vagon ušao je u pretkomoru peći 21.03.2011. u 17:08:22, u peć 21.03.2011. u 20:14:22, a izašao iz peći 22.03.2011. u 17:51:22, dakle ukupan proces pečenja trajao je 24:43:00. Sam proces pečenja (bez faze predgrijavanja) trajao je 21:37:00. Mjerenje je izvršeno sa već opisanom mjernom opremom, uz uzorkovanje svakih 5 sekundi i mjerni interval od 30 sekundi. Navedeno ima za posljedicu da se barata s 2967 mjernih intervala x 16 kanala, tj. sa 47472 izmjera temperature. Naravno, tablični način prikaza tolike količine podataka u MS Excelu je u potpunosti neprikladan za analizu dobivenih podataka, stoga, rade se dijagrami temperatura materijala i dimnih plinova ovisno o vremenu (tj. položaju mjernog vagona u peći) u cilju preglednijeg prikaza procesa pečenja u peći.

Dijagram temperaturnog režima mjernog vagona tunelske peći relativno je jednostavan. Na apscisi se nalazi vrijeme pečenja. Samo vrijeme pečenja nije dostatan podatak za analizu, jer je cilj analizirati parametre pečenja na određenom mjestu u peći. Zbog toga, unošenjem vremena pogurivanja cjelokupne kompozicije vagona, vremenska skala se može transformirati u os položaja mjernog vagona. Položaji mjernog vagona prikazani su vertikalnim crnim linijama od 1 do 50 (peć prima 50 vagona). Na ordinati su prikazane temperature materijala i dimnih plinova.

Na tunelskoj peći postoji cijeli niz otvora kojim se ostvaruju strujanje dimnih plinova i zraka u peć, i iz peći, stoga, vrlo je korisno uspostaviti uzročno-posljedičnu vezu između tih strujanja i efekata na proces pečenja koji se ogleda u temperaturama materijala i dimnih plinova. Stoga, u gornjem dijelu dijagrama prikazani su ulazi i izlazi struja dimnih plinova i zraka u obliku strelica. Značenje pojedinih simbola može se vidjeti u Tablica 6. Simboli su prikazani slijedom procesa pečenja, odnosno od početka tunelske peći prema njenom kraju.

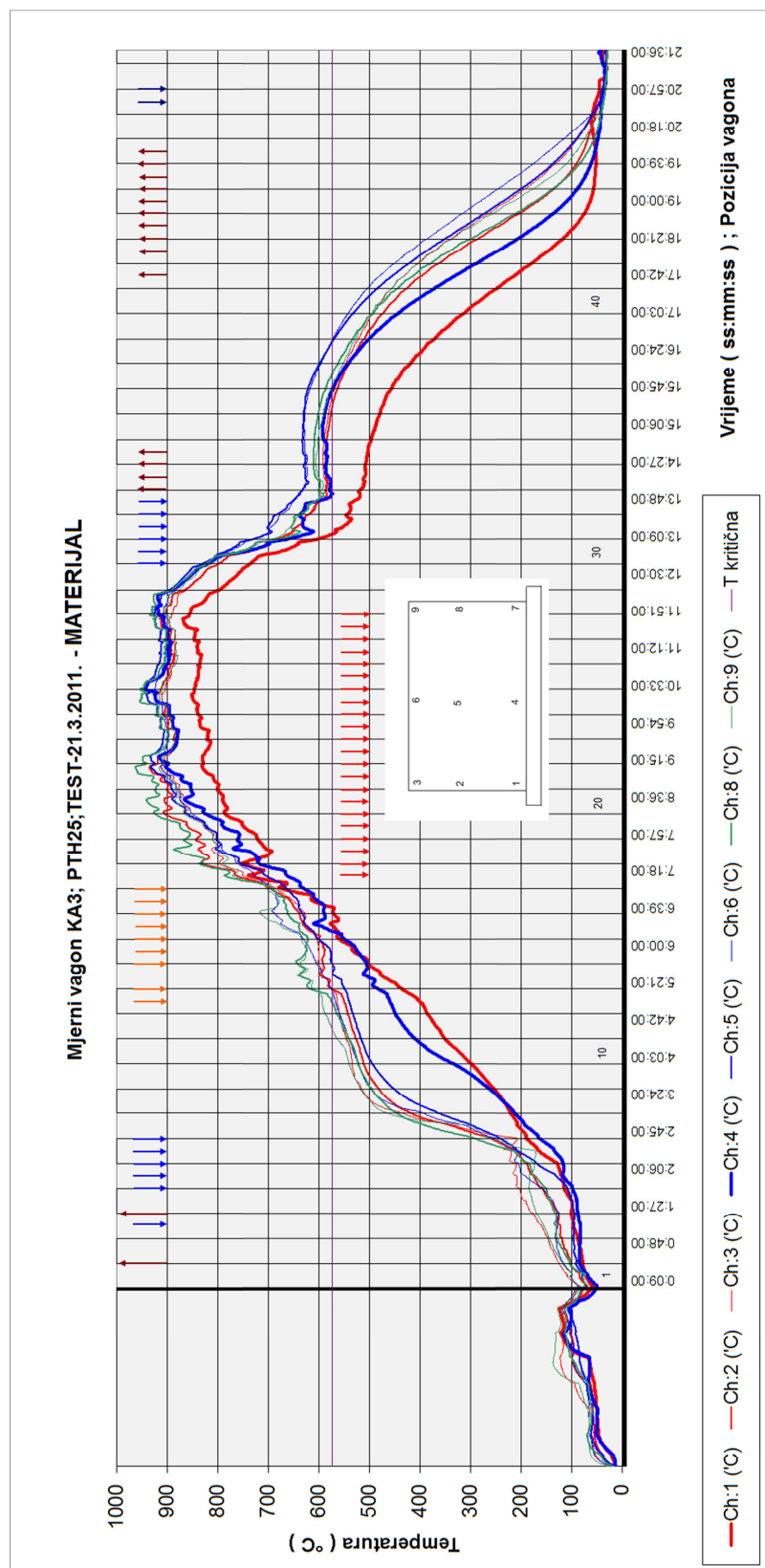
Tablica 6. Oznake struja dimnih plinova i zraka

| Simbol                                                                              | Značenje simbola                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|    | Izlaz dimnih plinova kroz dimnjak tunelske peći                        |
|    | Ulaz okolišnjeg zraka kroz puhalice za spuštanje struje dimnih plinova |
|    | Ulaz dimnih plinova - brzoučinski HG plamenici                         |
|    | Ulaz dimnih plinova - injektorski plamenici                            |
|    | Ulaz okolišnjeg zraka- brzo hlađenje                                   |
|    | Izlaz vrućeg zraka za sušaru - gornji direktni odsis                   |
|  | Izlaz toplog zraka za sušaru - donji direktni odsis                    |
|  | Ulaz okolišnjeg zraka - primarni zrak                                  |

Pri mjerenju temperaturnog režima procesa pečenja opekarskih proizvoda uslijed visokih temperatura i činjenice da se cjelokupni mjerni sustav giba zajedno s vagonom tunelske peći, dolazi do kvara pojedinih mjernih kanala. U prikazanom mjerenju došlo je do kvara sonde temperature br. 7. (materijal dolje-desno). To je razlog zbog čega rezultati mjerenja navedene sonde nisu prikazani.

Na temelju provedenih mjerenja generirano je 7 dijagrama temperatura (od dijagrama A, do dijagrama G). Pri tomu je daleko najvažniji dijagram A, na kojem se mogu uočiti sve bitne pojave i odstupanja u procesu pečenja, pa je i dijagram A najdetaljnije opisan.





Slika 51. Dijagram A: Materijal

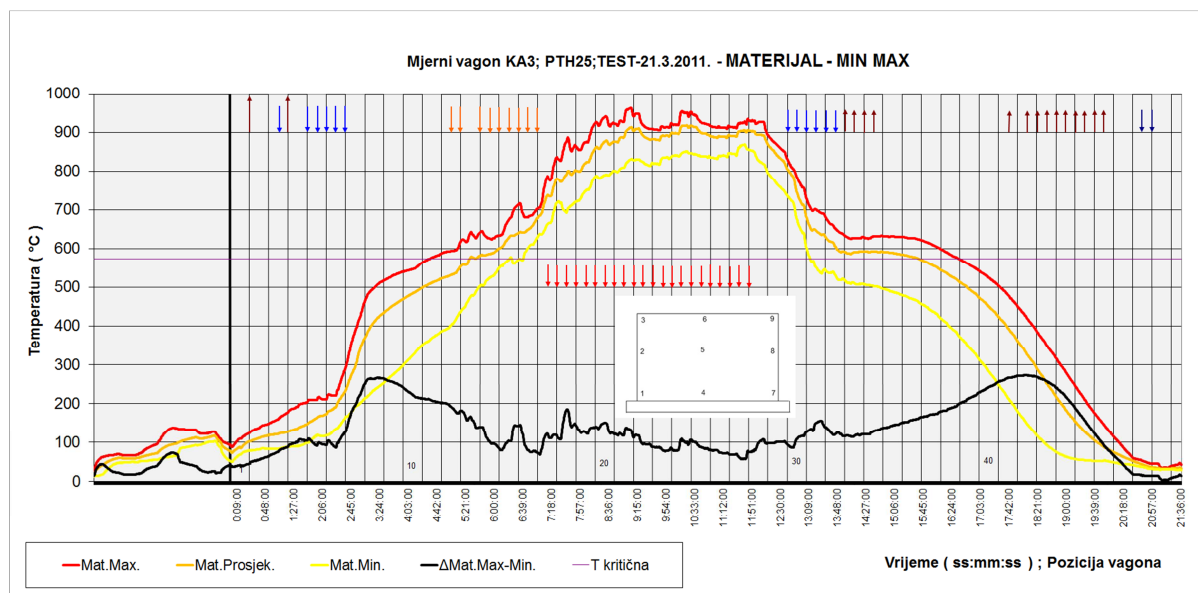
Analiza dijagrama A: (Slika 51.)

- u dijagramu su prikazane temperature materijala svih sondi temperature od 1 do 9,
- temperature pojedinih sondi je zbog velikog broja podataka teško pratiti, međutim, u ovakvom dijagramu je najlakše uočiti tipične probleme u procesu pečenja opekarski proizvoda,
- već na prvi pogled može se uočiti da postoji znatna odstupanja temperatura materijala na istim pozicijama u peći; takva odstupanja potrebno je reducirati na najmanju moguću mjeru jer različite temperature uzrokuju razlike u režimu transformacije glinenih minerala, što opet uzrokuje i različita fizikalna svojstva opeke ovisno o poziciji na vagonu,
- predgrijavanje u pretkomori je uglavnom korektno; može se jedino uočiti odstupanje temperature gornjih redova (sonde 3. i 9.) što je i uobičajeno jer su temperature u vertikali bez prisilne cirkulacije u gornjem dijelu uvijek veće; nadalje može se primijetiti da sve temperature pri ulasku u peć padaju, što, dakako, nije dobro, međutim, neizbježno je zbog same konstrukcije peći; naime, materijal zagrijan u pretkomori peći sa šinskom prijevoznicom se transportira iz pretkomore peći na ulaz peći; prostor kanala šinske prijevoznice ne zagrijava se zbog osiguranja ispravnog rada same šinske prijevoznice, kao i zbog hidrauličnog pogurivača, pa je zbog toga pad temperature neizbježna posljedica,
- u zoni predgrijavanja u peći (pozicija 1. → pozicija 11.) može se uočiti karakteristično razdvajanje krivulja temperatura; gornji dio paketa ima najvišu temperaturu, zatim srednji dio paketa, dok njegov donji dio ima najnižu temperaturu; naročito je uočljiva velika temperaturna razlika između srednjeg i donjeg dijela paketa; takva pojava se može objasniti s dvije činjenice: termodinamički princip prema kojemu se plin više temperature nalazi u gornjem dijelu stupca plina i princip strujanja dimnih plinova kroz tunelsku peć

prema kojem se najveći dio strujanja dimnih plinova odvija između stropa peći i vrha paketa zbog najmanjih otpora strujanju; također, moguće je uočiti da je razdvajanje krivulja temperatura u području peći gdje djeluju puhalice zraka znatno manje; što je upravo i svrha puhalica zraka, odnosno da struju dimnih plinova između stropa i vrha paketa usmjere prema donjem dijelu paketa,

- u zoni brzoučinskih HG plamenika sa kontrolom plamena (pozicija 12. → pozicija 16.) može se uočiti da dolazi do znatnog porasta temperatura svih dijelova paketa, te da se prilično smanjuje razdvajanje temperaturnih krivulja gornjeg i donjeg dijela paketa; iako se smanjuje temperaturna razlika, ona je i dalje primjetna, te je objašnjavamo činjenicom da su brzoučinski plamenici ugrađeni u tavanicu peći, tj. donji dio paketa je udaljen od plamenika oko 2000 mm, zbog čega brzoučinski plamenici u toj zoni imaju najmanji efekt; također, primjetno je da nedostaje ložišni red brzoučinskih plamenika na poziciji 13; gubljenje kontinuiteta vatre u vatrenom kanalu zasigurno predstavlja problem za proces pečenja kao i za kvalitetu gotovih proizvoda, međutim, izravne efekte tog nedostatka nije moguće jasno uočiti na dijagramu A,
- u zoni injektorskih plamenika ili zoni vršne vatre (pozicija 17. → pozicija 27.) dolazi do daljnjeg smanjenje razdvajanja temperaturnih krivulju gornjeg i donjeg dijela paketa; također je uočljivo da sonda 1. tj. temperatura materijala u donjem lijevom dijelu paketa značajno odstupa od ostalih temperatura; razlozi tomu mogu biti loše balansirana snaga plamenika na lijevoj strani peći ili nedovoljno predgrijavanje materijala u prethodnoj fazi; također je uočljivo da temperatura sonde 4. (materijal sredina dolje) značajno zaostaje u zoni predgrijavanja, međutim, u zoni vršne vatre dolazi do izjednačavanja sa ostalim temperaturama,
- u zoni hlađenja (pozicija 30. → pozicija 50.) gornji i srednji redovi paketa pravilno prolaze kroz kritičnu temperaturu (kvarcnu pretvorbu), ali donji redovi prolaze kroz kvarcnu pretvorbu u zoni brzog hlađenja (pozicija 30. → pozicija 32.) što može uzrokovati rapidni pad kvalitete gotovog proizvoda, odnosno pojavu finih pukotina; temperaturna sonda 1. (materijal lijevo-dolje) naglim

padom prolazi kroz fazu kvarcne pretvorbe zbog toga što u prethodnoj fazi (faza vršne vatre) nije dostignuta vršna temperatura; s druge strane, temperaturna sonda 4. (materijal sredina-dolje) dostiže kvarcu pretvorbu, ali pod utjecajem gornjeg direktnog odsisa toplina iz sredine paketa prelazi na rub paketa, ponovno zagrijavajući i dižući temperaturu vanjskog dijela paketa, što, također, može uzrokovati rapidni pad kakvoće gotovih proizvoda.

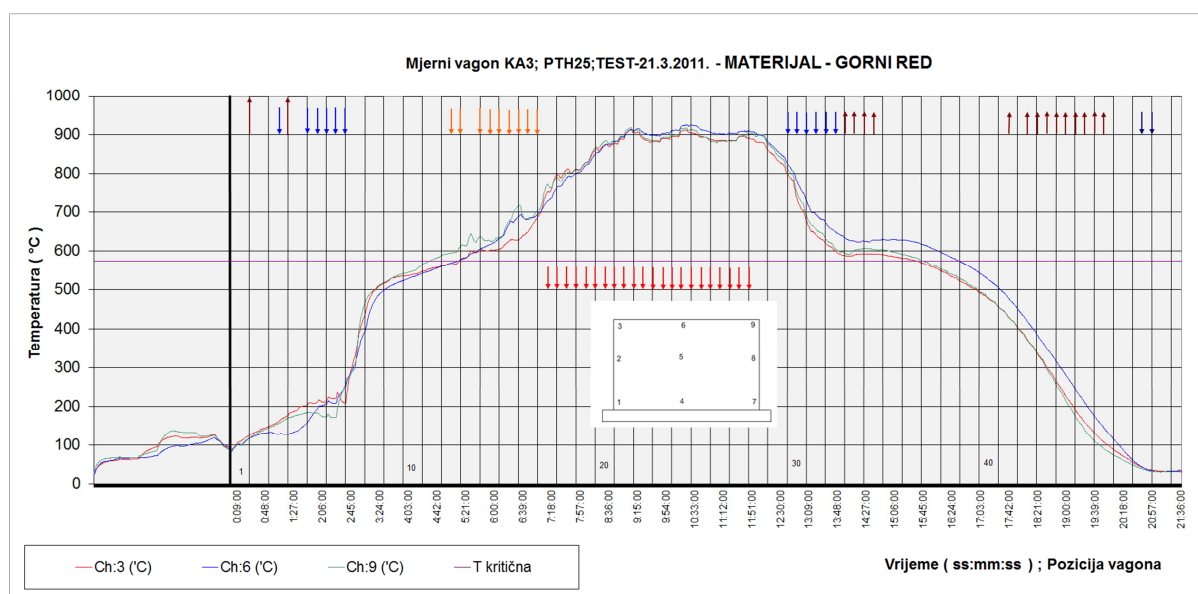


**Slika 52. Dijagram B: Materijal min-max**

#### Analiza dijagrama B: (Slika 52.)

- u dijagramu su prikazane minimalne, maksimalne i prosječne temperature materijala svih 9 sondi temperature,
- prikazani dijagram ima zadatak prikazati rasipanje temperature materijala na različitim pozicijama na vagonu tunelske peći, što je ujedno i pokazatelj preciznosti vođenja procesa pečenja opekarskih proizvoda,
- dijagram jasno pokazuje nedostatke održavanja procesa pečenja opekarskih proizvoda,
- krivulja minimalnih temperatura je zapravo krivulja temperatura donjih redova paketa prikazanih u dijagramu A,

- krivulja maksimalnih temperatura je zapravo krivulja temperatura gornjih redova paketa prikazanih u dijagramu A,
- najveće rasipanje iznosa temperature materijala je u zoni predgrijavanja i u zoni hlađenja proizvoda, što je potpuno razumljivo, međutim, preveliki su iznosi rasipanja temperatura materijala koji se približavaju 300°C,
- u dijagramu valja uočiti dvije potencijalne opasnosti za održavanje visoke razine kvalitete gotovih proizvoda, a to su:
  - veliko rasipanje temperatura materijala u zoni predgrijavanja, što rezultira velikim razlikama u brzini zagrijavanja materijala prije zone pečenja, i može uzrokovati grube pukotine u proizvodima,
  - krivulja minimalnih temperatura materijala prolazi kroz kritičnu temperaturu (kvarcnu pretvorbu) u zoni brzog hlađenja, što može izazvati fine pukotine u proizvodima.

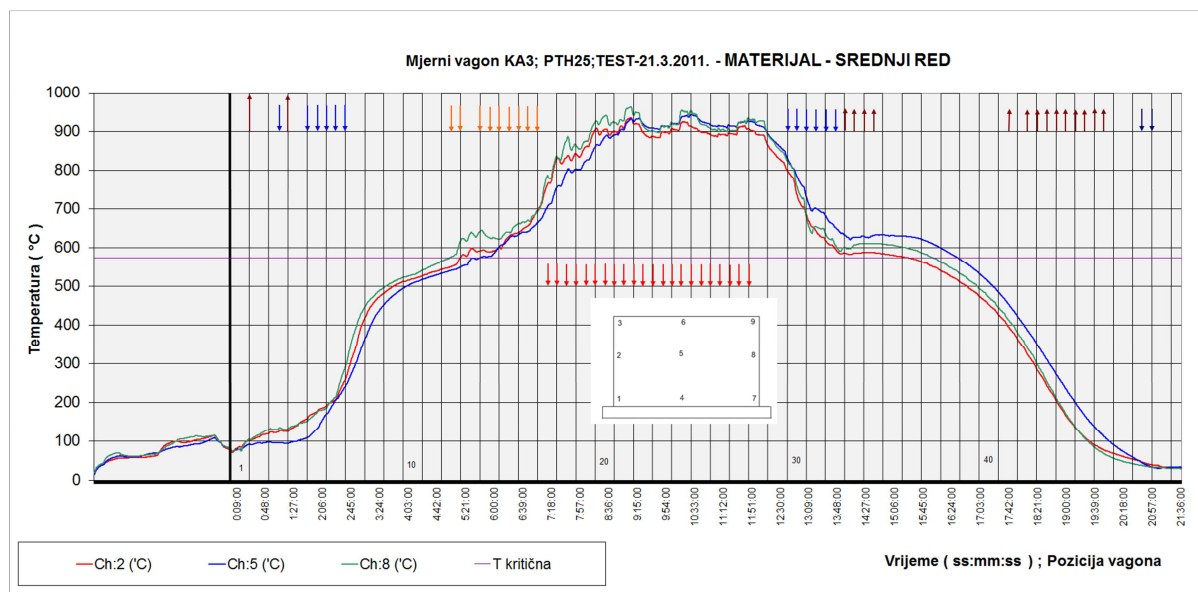


Slika 53. Dijagram C: Materijal gore

Analiza dijagrama C: (Slika 53.)

- u dijagramu su prikazane temperature materijala gornjeg dijela paketa, lijeve strane, sredine i desne strane,
- prikazani dijagram pokazuje malo rasipanje temperatura materijala u svim zonama procesa pečenja,
- u dijagramu je uočljivo ispravno vođenje procesa pečenja opekarskih proizvoda, odlično predgrijavanje proizvoda prije zone vatre, kontinuirano pečenje na vršnoj temperaturi preko 900°C, te blagi prolaz kroz pojas kritične temperature (kvarcna pretvorba),
- također, može se uočiti određeno (umjereno) odstupanje krivulje srednjeg dijela paketa u odnosu na njegov lijevi i desni dio; prvi uzrok pojave je nešto veća vršna temperatura u zoni pečenja, dok je drugi uzrok debalans puhalica brzog hlađenja u srednjem dijelu u odnosu na bočne dijelove paketa,
- svaka puhalica brzog hlađenja ima klapnu kojom se može pojačavati ili smanjivati struja okolišnog zraka za hlađenje materijala, zbog čega postoje dvije opcije balansiranja temperatura materijala u zoni brzog hlađenja:
  - treba pojačati struju okolišnog zraka u puhalicama na sredini peći; analizirajući samo dijagram C, to je prihvatljivo rješenje, ali imajući u vidu da ono utječe i na hlađenje proizvoda u srednjem i donjem redu paketa, takvo rješenje bi generiralo dodatne komplikacije tijekom kvarcne pretvorbe donjeg reda paketa,
  - smanjiti struju okolišnog zraka u puhalicama na lijevoj i desnoj strani peći; takvo rješenje bi bilo prihvatljivo za sve dijelove paketa po vertikali
- kada se analizira balansiranje puhalica brzog hlađenja po vertikali, treba imati na umu da postoji mehanizam, istina ograničen, za balansiranje; naime, puhalice su postavljene naizmjenično s cilindričnim i koničnim krajevima, pa one s cilindričnim krajevima više djeluju na gornji dio paketa, dok puhalice s

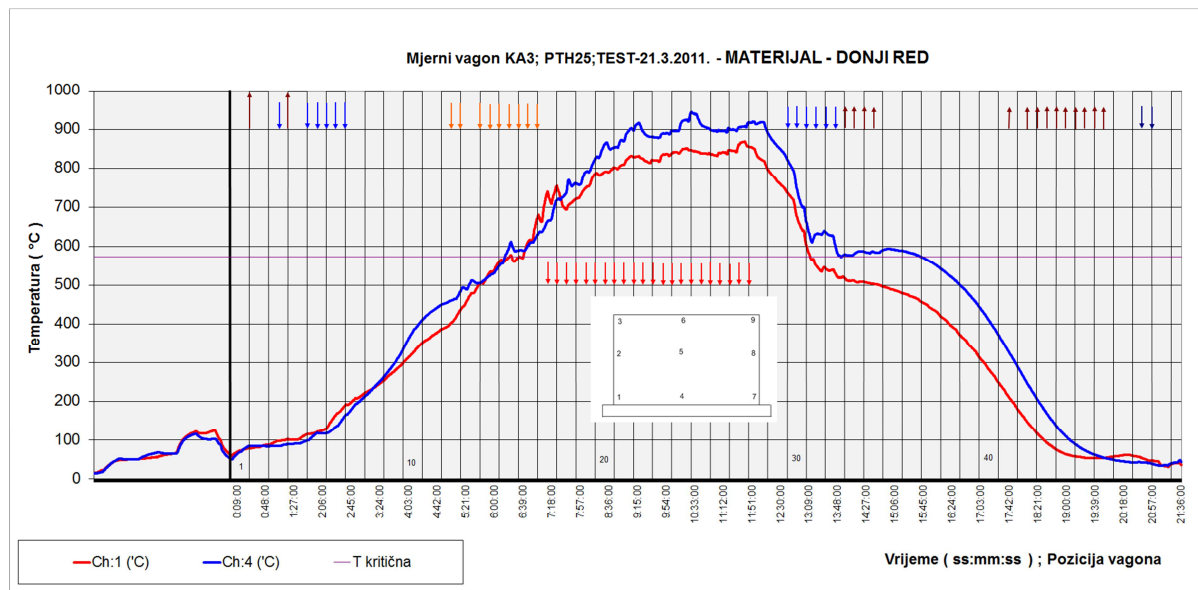
koničnim krajevima, zbog povećane brzine strujanja, više djeluju na donje dijelove paketa.



**Slika 54. Dijagram D: Materijal sredina**

#### Analiza dijagrama D: (Slika 54.)

- u dijagramu su prikazane temperature materijala srednjeg dijela paketa, lijeve strane, sredine i desne strane,
- prikazani dijagram pokazuje malo rasipanje temperatura materijala u svim zonama procesa pečenja,
- u dijagramu može se uočiti pravilno vođenje procesa pečenja opekarskih proizvoda, odlično predgrijavanje proizvoda prije zone vatre, kontinuirano pečenje na vršnoj temperaturi preko 900°C, te blagi prolaz kritične temperature (kvarcna pretvorba),
- uočljive su, nadalje, nešto veće temperature predgrijavanja materijala na desnoj strani, ali odstupanja su relativno mala, pa nisu nužne intervencije,
- također, što se tiče temperature u zoni brzog hlađenja, mogu se uočiti iste pojave kao i u gornjem redu paketa (analiza dijagrama C); dakle treba prigušiti strujanje okolišnog zraka na puhalicama na desnoj i lijevoj strani tunelske peći.



Slika 55. Dijagram E: Materijal dolje

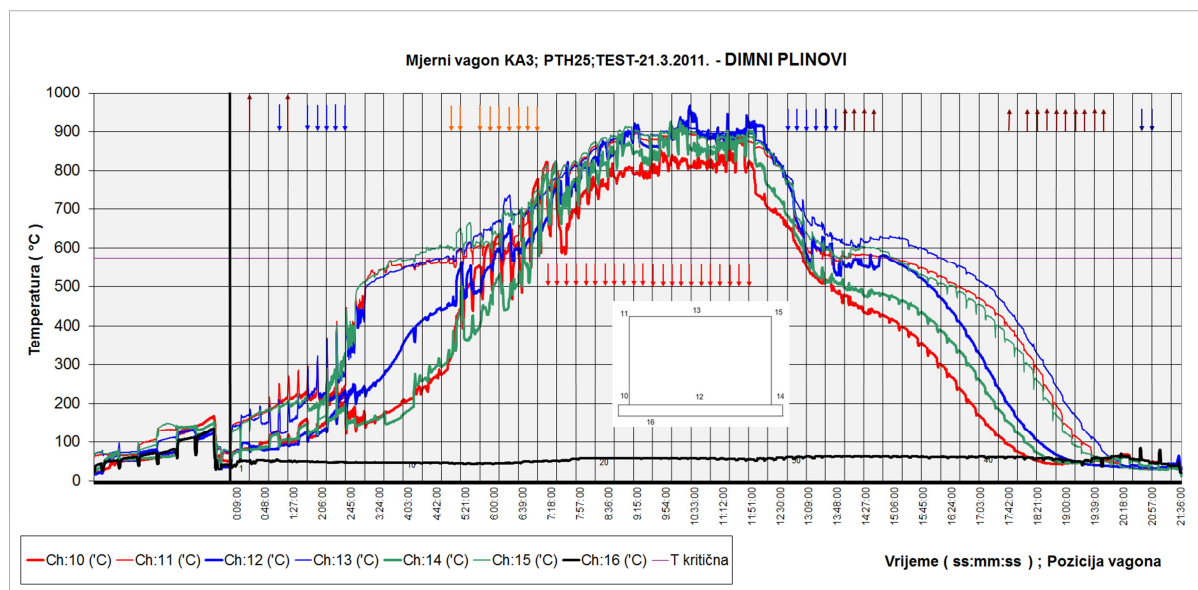
Analiza dijagrama E: (Slika 55.)

- u dijagramu su prikazane temperature materijala donjeg dijela paketa, lijeve strane i sredine; temperature desne strane paketa nisu prikazane zbog otkazivanja temperaturne sonde br. 7.,
- pravilno vođenje procesa pečenja donjih redova paketa u tunelskim pećima je najteži i najsloženiji dio procesa zbog same konstrukcije tunelske peći; naime, gotovo svi elementi kojima se ostvaruje strujanje dimnih plinova i zraka smješteni su u tavaničnom dijelu peći (puhalice, brzoučinski plamenici, injektorski plamenici, brzo hlađenje, gornji i donji direktni odsis, primarni zrak); stoga, svi spomenuti elementi moraju upravljati s atmosferom u donjim dijelovima paketa koji su udaljeni 2000 mm (visina vatrene kanala je 2 metra); nadalje, dodatni problem je činjenica da je uzdužna struja dimnih plinova kroz tunelsku peć najsnažnija u području između vrha paketa i tavanice tunelske peći zbog najmanjih otpora strujanju dimnih plinova,
- može se zapaziti da nema većih razlika u temperaturnim krivuljama u zoni predgrijavanja sonde temperature br. 1. (materijal lijevo – dolje) i br. 4. (materijal sredina – dolje), ali brzina predgrijavanja donjih redova (sonda br. 1.



i 4.) drastično zaostaje za brzinom predgrijavanja srednjeg i gornjeg reda (problem detaljnije analiziran u analizi dijagrama A),

- u zoni vršne vatre može se primijetiti veliko odstupanje temperature pečenja lijevog dijela peći u odnosu na sredinu; temperatura lijevog dijela je nedovoljna, stoga, razumno je očekivati da će gotovi proizvodi pečeni na tom dijelu vagona tunelske peći imati manju pritisnu čvrstoću i veće upijanje vode; taj problem može se korigirati, većim dijelom, balansiranjem snage plamenika lijeve strane tunelske peći,
- odstupanja postoje i u zoni hlađenja, međutim, puno veći problem je način na koji donji redovi prolaze kroz kvarcnu pretvorbu (detaljnije opisano u analizi dijagrama A),
- podizanjem temperature materijala lijeve strane u zoni vršne vatre imati će za posljedicu približavanje krivulja lijevog i srednjeg dijela u zoni hlađenja.



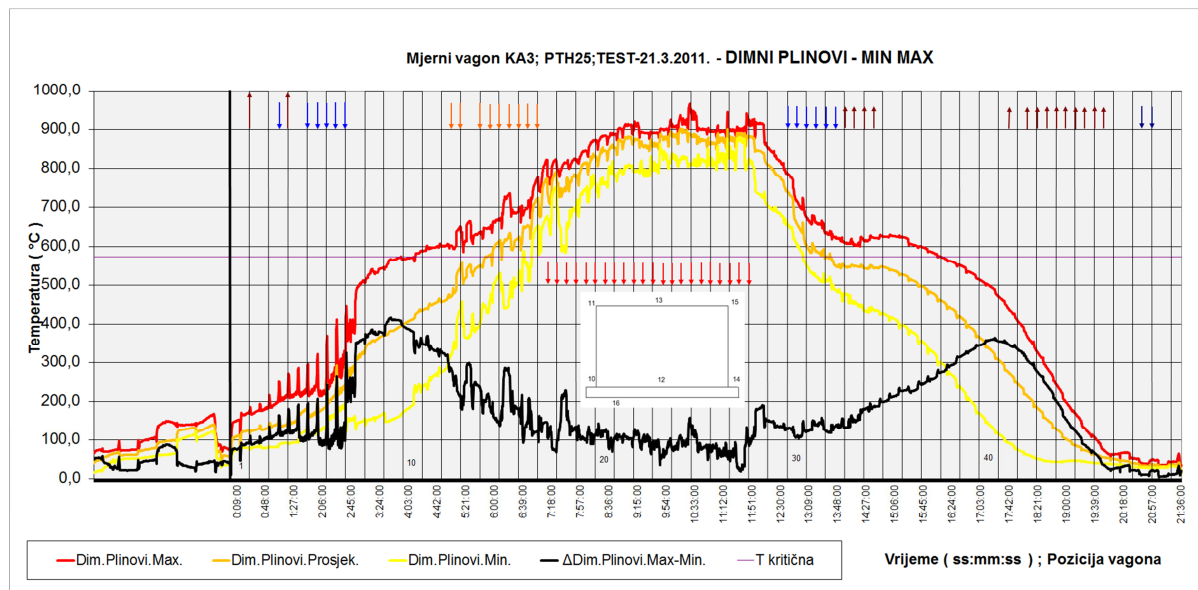
### Slika 56. Dijagram F: Dimni plinovi

### Analiza dijagrama F: (Slika 56.)

- u dijagramu F prikazane su temperature zraka i dimnih plinova svih 7 sonde temperature, od čega su 6 sonde pozicionirane na vagonu peći nekoliko

centimetara uz materijal, dok je jedna sonda (sonda br. 16.) pozicionirana ispod vagona peći,

- može se steći dojam da je analiza temperaturnih stanja materijala stavljena u prvi plan, dok je analiza temperaturnih stanja dimnih plinova i zraka stavljena u drugi plan (postoje 5 dijagrama temperaturnih krivulja materijala i dva dijagrama dimnih plinova i zraka, od kojih je uvjerljivo najvažniji dijagram materijala A); takav dojam je u potpunosti ispravan; naime, proces djeluje tako da se kroz otvore tunelske peći uvodi i izvodi strujanje dimnih plinova, zraka, ali to strujanje ne djeluje direktno na materijal, već mijenja termička svojstva atmosfere koja okružuje materijal; naravno, slijedi izmjena topline između atmosfere unutar peći i samog materijala,
- bitno je istaknuti da stvaranje idealnih toplinskih stanja dimnih plinova i zraka ne jamči idealna toplinska stanja proizvoda u peći jer postoje još brojni čimbenici koji utječu na izmjenu topline između atmosfere i materijala kao što su: put kretanja dimnih plinova (udio struje dimnih plinova između tavanice i vrha paketa, udio strujanja unutar samog paketa, udio strujanja između bočnih zidova i paketa), tlačno stanje unutar vatrenog kanala (potlak, pretlak) itd.,
- ipak, ako usporedimo dijagram A s dijagramom F otkriti ćemo visoku korelaciju podataka; prisjetimo se da sonda materijala br. 7. (materijal desno-dolje) nije radila; na temelju dijagrama F može se s punim pravom pretpostaviti da je predgrijavanje sonde br. 7 prilično loše kao i predgrijavanje sonde br. 4., dok je proces pečenja sonde 7. znatno bolje a proces hlađenja malo bolji,
- valja se, također, prisjetiti da smo utvrdili u dijagramu A da nedostaje jedan red ložnih brzoučinskih HG plamenika na poziciji 13., međutim, na predmetnom dijagramu nismo mogli uočiti efekte tog nedostatka (temperatura materijala se puno sporije mijenja u odnosu na temperaturu atmosfere unutar peći); analizirajući dijagram F može se potvrditi prijašnja konstatacija o štetnosti gubitka kontinuiteta pečenja jer je uočljivo da na navedenoj poziciji dolazi do znatnog pada temperature atmosfere.



Slika 57. Dijagram G: Dimni plinovi min-max

Analiza dijagrama G: (Slika 57.)

- u dijagramu G prikazane su minimalne, maksimalne i odstupanja temperature zraka i dimnih plinova svih 6 sonde temperature,
- uočljivo je da su minimalne temperature dimnih plinova i zraka zapravo temperature atmosfere donjih redova paketa na vagonu tunelske peći, dok su maksimalne temperature dimnih plinova i zraka temperature atmosfere gornjih redova paketa,
- također, moguće je iznimno lako zapaziti ponajveći problem procesa pečenja koji se provlači kroz analizu svih prikazanih dijagrama, a to je zona predgrijavanja; nije moguće ostvariti dobro predgrijavanje materijala ako je razlika atmosfere između gornjih i donjih redova preko 400°C ; tako visoka temperaturna razlika uzrokuje i velike razlike u temperaturi materijala gornjih i donjih redova (dijagram B) od cca. 280°C,
- spomenute teškoće predgrijavanja nije moguće riješiti bez ulaganja u novu opremu tunelske peći, jer su svi izvršni elementi (plamenici) tavanične izvedbe i njihov efekt na donje redove je ograničen,

- problem temperaturnih odstupanja gornjeg i donjeg dijela paketa je moguće riješiti uporabom postojeće opreme tunelske peći na način da se balansiraju postojeći plamenici,
- također je važno primijetiti da je proces pečenja opekarskih proizvoda kontinuiran proces, tako da promjenama temperaturnog režima jedne zone ujedno i mijenjamo temperaturni režim i drugih zona u tunelskoj peći; na tragu ove konstatacije može se utvrditi da će se rješavanjem problema predgrijavanja (dizanje temperature donjih redova paketa) ujedno i djelomično riješiti problem odstupanja temperatura u zoni pečenja.

Slijedeći korak je predlaganje osnovnih smjernica kako poboljšati proces, jer dijagnostika u procesu pečenja nije sama sebi svrha, već treba dati podatke na temelju kojih se može detektirati stanje procesa, te dati prijedloge mjera za poboljšanje.

Razvidno je da bi podizanje volumena pečene proizvodnje, uz zadovoljavanje cilja povećanja razine cjelokupne proizvodnje, izrazito povoljno djelovalo na smanjenje jedinične potrošnje prirodnog plina. Jedini način podizanja volumena pečene proizvodnje je povećanje brzine prolaska vagona kroz peć, međutim, time dolazi do značajnog pada kvalitete pečenih proizvoda. Razlog tomu je činjenica da je duljina zone pečenja konstantna, stoga, ako se brzina kretanja vagona kroz peć povećava, smanjuje se vrijeme pečenja i dolazi do degradacije karakteristika gotovog proizvoda.

Na temelju svega spomenutog, očito je da je jedini način povećanja volumena pečene proizvodnje produljenje zone pečenja. To se može realizirati na dva načina:

1. produljenje zone pečenja u smjeru početka peći
2. produljenje zone pečenja u smjeru kraja peći

Produljenje zone pečenja u smjeru početka peći znači instaliranje novih plamenika ispred postojećih HG brzoučinskih plamenika. To predstavlja racionalno rješenje, jer dolazi do produljenja zone pečenja, uz efikasnije predgrijavanje robe na početku

tunelske peći. Povrh toga, postoji mogućnost postizanja još boljih učinaka ako bi se instalirali bočni plamenici. Time bi došlo do boljeg zagrijavanja donjeg dijela paketa, te time i do povećanja kvalitete pečenih proizvoda na način da bi se reducirala pojava pukotina predgrijavanja i redukcijских mrlji u zoni predgrijavanja u donjim redovima paketa.

S druge strane, produljenje zone pečenja u smjeru kraja peći znači instaliranje novih plamenika iza zadnje grupe injektorskih plamenika. Ovo rješenje je neracionalno, jer je brzo hlađenje smješteno samo 3 ložne grupe iza zadnjeg reda injektorskih plamenika, stoga, pečeni proizvodi bi se unutar 1,4 metra (razmak dva ložišna otvora) hladili sa 900°C na 600°C. Dodatni razlog za odbacivanje ovakvog rješenja jest činjenica da je direktni odsis peći u neposrednoj blizini, pa bi većina dimnih plinova generirana od novih plamenika ostala neiskorištena u procesu pečenja, jer bi bili transportirani putem gornjeg direktnog odsisa u sušaru.

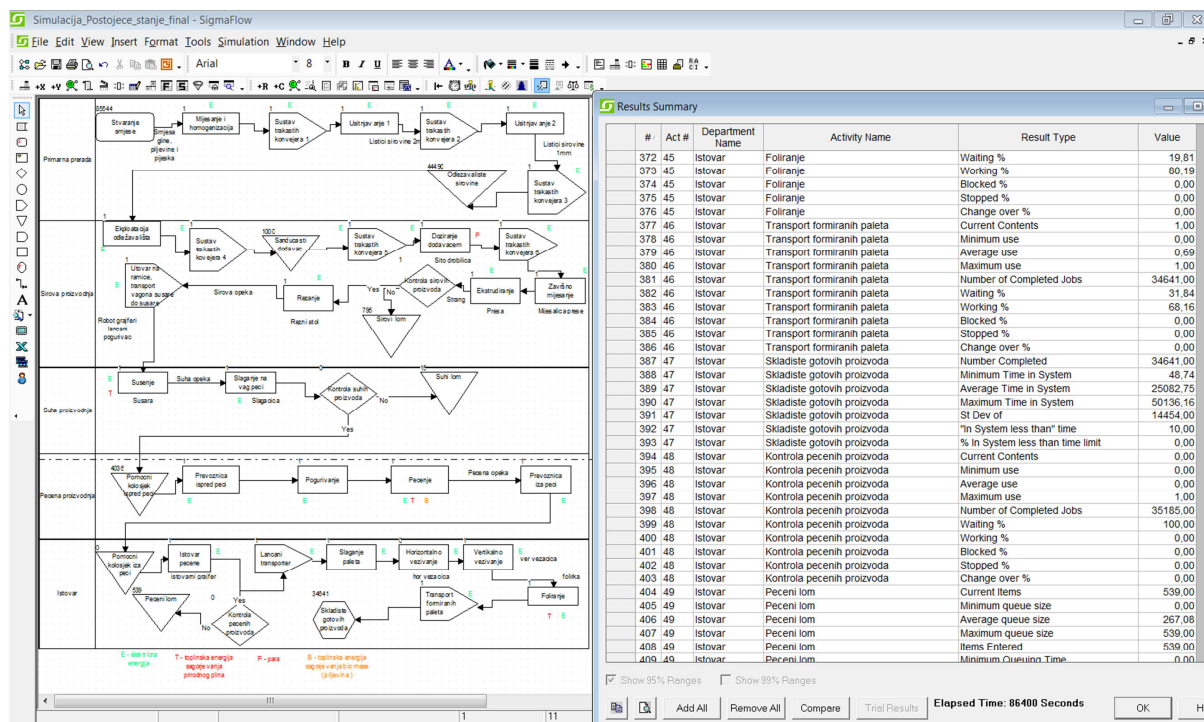
Budući da je analiza pokazala opravdanost ugradnje HG brzoučinskih plamenika u bočni zid tunelske sušare, racionalno je testirati predloženo rješenje simulacijom. Simulacija proizvodnje opekarskih proizvoda vršena je softverskim paketom SigmaFlow.

Simulirana je proizvodnja referentnog formata PTH 25 S, koji je ujedno i bio predmet mjerenja procesa pečenja mjernim vagonom. Normativi formata PTH 25 S mogu se vidjeti u Tablica 7.

**Tablica 7. Normativi referentnog formata PTH 25 S**

| PTH 25 S | NF/kom                                                                       | kom/V.S. | V.S./dan         | kom/V.P. | V.P./dan       | kom/dan | kom/PAL. |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------|----------|----------------|---------|----------|
|          | 11,44                                                                        | 162      | 217              | 640      | 55             | 35.200  | 72       |
|          | kg/kom sirovo                                                                |          | kg/kom suho      |          | kg/kom pečeno  |         | PAL./dan |
|          | 21,49                                                                        |          | 17,17            |          | 15,4           |         | 486      |
|          | kg gline/kom                                                                 |          | kg piljevine/kom |          | kg pijeska/kom |         |          |
|          | 16,88                                                                        |          | 1,26             |          | 3,36           |         |          |
| NF       | Normalni format=vol. mjera staroga formata pune opeke (25,0 x 12,0 x 6,5 cm) |          |                  |          |                |         |          |
| V.S.     | Vagon sušare                                                                 |          |                  |          |                |         |          |
| V.P.     | Vagon tunelske peći                                                          |          |                  |          |                |         |          |
| PAL.     | Paleta                                                                       |          |                  |          |                |         |          |

Prva simulacija prikazivala je postojeće stanje proizvodnog procesa, te je simuliran jedan radni dan proizvodnje referentnog proizvoda PTH 25 S. Nakon izvođenja simulacije, na Slika 58. prikazan je detaljan izvještaj dobivenih rezultata.



**Slika 58. Izvještaj procesa simulacije**

Druga simulacija prikazala je novo stanje proizvodnog procesa, na način da je ugradnja HG brzoučinskih plamenika u bočni zid tunelske peći donijela mogućnost ubrzanja prolaska opeke kroz peć (sa 55 na 56 vagona peći na dan). Povrh toga, došlo je do smanjenja pečenog loma zbog kvalitetnijeg predgrijavanja proizvoda u donjoj zoni vagona peći.

U prikazanoj Tablici 8. prikazana je usporedba detaljnog izvještaja postojećeg i novog stanja proizvodnog procesa. Imajući u vidu da je izvještaj pojedine simulacije izuzetno iscrpan, prikazani su samo podaci koji su se promijenili prilikom promjene proizvodnog procesa. Iz prikazanih izvještaja simulacije može se zaključiti slijedeće:

- U obje simulacije proizvedena je sirovinna smjesa za 85.544 komada opeke. Ta količina je znatno veća od proizvedene količine pečenom proizvodnjom. Dakle, može se zaključiti da je kapacitet primarne prerade znatno veći od

ostalih faza proizvodnje. Primarna prerada može preraditi  $85 \text{ m}^3/\text{h}$  sirovine u rasutom stanju, uz  $\rho = 1076 \text{ kg/m}^3$ , dolazi se do kapaciteta od 2.195 tona/dan. S druge strane, potrebe sirove proizvodnje su, za referentni proizvod PTH 25 S, 756 tona. Razlozi otklona kapaciteta primarne prerade od ostalih faza proizvodnje su slijedeći: predmetna primarna prerada je bila konstruirana za posluživanje dva pogona, naknadno povećanje kapaciteta je vrlo zahtjevno, stoga, kapacitet je povećan još u fazi konstruiranja, povećani kapacitet daje mogućnost rada primarne prerade samo u vrijeme niže tarife električne energije.

- Moguće je zaključiti da je pogonska sigurnosti primarne prerade veoma visoka, zbog izrazito visoke akumulacije nakon procesa primarne prerade. Proces završava sa punjenjem odležavališta (bazena), koji ima relativno veliki kapacitet, te može posluživati sirovu proizvodnju nekoliko dana bez ponovnog punjenja.
- Kapacitet sirove proizvodnje za referentni format opeke PTH 25 S je oko 35 200 kom/dan ili 217 vagona sušare/dan. Međutim, stvarni kapacitet je veći, ali ne može biti ostvaren u dužem vremenskom razdoblju zbog prigušenja koje uzrokuje proces pečenja. Povećani kapacitet se ostvaruje u slučaju prethodnog zastoja u sirovoj proizvodnji, koji je rezultirao smanjenjem akumulacije na pomoćnom kolosijeku ispred peći.
- Kapacitet suhe proizvodnje je identičan kapacitetu sirove proizvodnje (oblikovanja) zbog direktne međuovisnosti dviju faza proizvodnje. Proces sušenja se ne može odvijati bez procesa sirove proizvodnje (oblikovanja) jer vagoni sirovih proizvoda koje ulaze u sušaru guraju cjelokupnu kompoziciju vagona u sušari, te time i izguravaju zadnji vagon iz sušare, krećući se prema slagačici suhe robe, koja puni vagone peći suhim proizvodima. Vrijedi i suprotno, proces sirove proizvodnje ne može se odvijati bez procesa sušenja.

- Proizvedene količine pojedinih faza procesa proizvodnje opekarskih proizvoda se ne mijenjaju do faze akumulacije procesa pečene proizvodnje (pomoćni kolosijek ispred tunelske peći).
- Akumulacija ispred tunelske peći (pomoćni kolosijek) se smanjila sa 4.036 kom na 3.386 komada. Ta razlika je zapravo povećanje proizvedene količine procesa pečenja, dakle, pečena proizvodnja je proizvela dodatna 650 komada opeke ( $4.036 - 3.386 = 650$ ).
- Povećanje transportirane količine opeke prijevoznicom ispred peći sa 35.189 na 35.839 komada. Razlika je jednaka padu akumulacije na pomoćnom kolosijeku ispred tunelske peći ili povećanju pečene proizvodnje.
- Povećanje proizvedenih količina procesa pečenja sa 35.187 na 35.837 komada.
- Konačno, povećanje proizvedenih količina cjelokupne linije proizvodnje opekarskih proizvoda sa 34.641 kom na 35.479 uz smanjenje pečenog loma sa 539 na 351 komada.



**Tablica 8. Usporedba podataka simulacije postojećeg i poboljšanog proizvodnog procesa**

| #   | Act # | Department Name    | Activity Name                | Result Type                     | Staro        | Novo         |
|-----|-------|--------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|
| 249 | 29    | Pecena proizvodnja | Pomocni kolosjek ispred peci | Current Items                   | <b>4036</b>  | <b>3386</b>  |
| 251 | 29    | Pecena proizvodnja | Pomocni kolosjek ispred peci | Average queue size              | 2015,7       | 1690,66      |
| 252 | 29    | Pecena proizvodnja | Pomocni kolosjek ispred peci | Maximum queue size              | 4037         | 3386         |
| 255 | 29    | Pecena proizvodnja | Pomocni kolosjek ispred peci | Average Queuing Time            | 4439,6       | 3723,61      |
| 256 | 29    | Pecena proizvodnja | Pomocni kolosjek ispred peci | Maximum Queuing Time            | 8888,3       | 7454,82      |
| 257 | 29    | Pecena proizvodnja | Pomocni kolosjek ispred peci | St Dev of Queuing Time          | 2565,1       | 2151,76      |
| 259 | 29    | Pecena proizvodnja | Pomocni kolosjek ispred peci | Average (non-zero) Queuing Time | 4439,7       | 3723,72      |
| 260 | 29    | Pecena proizvodnja | Pomocni kolosjek ispred peci | Number of non zero queuing time | 35189        | 35839        |
| 262 | 29    | Pecena proizvodnja | Pomocni kolosjek ispred peci | % Queued less than time limit   | 0,12         | 0,14         |
| 267 | 30    | Pecena proizvodnja | Prevoznica ispred peci       | Number of Completed Jobs        | <b>35189</b> | <b>35839</b> |
| 269 | 30    | Pecena proizvodnja | Prevoznica ispred peci       | Working %                       | 93,67        | 95,4         |
| 270 | 30    | Pecena proizvodnja | Prevoznica ispred peci       | Blocked %                       | 6,29         | 4,56         |
| 277 | 31    | Pecena proizvodnja | Pogurivanje                  | Number of Completed Jobs        | <b>35188</b> | <b>35838</b> |
| 279 | 31    | Pecena proizvodnja | Pogurivanje                  | Working %                       | 95,71        | 97,48        |
| 280 | 31    | Pecena proizvodnja | Pogurivanje                  | Blocked %                       | 4,26         | 2,49         |
| 287 | 32    | Pecena proizvodnja | Pecenje                      | Number of Completed Jobs        | <b>35187</b> | <b>35837</b> |
| 295 | 33    | Pecena proizvodnja | Prevoznica iza peci          | Average use                     | 0,93         | 0,95         |
| 297 | 33    | Pecena proizvodnja | Prevoznica iza peci          | Number of Completed Jobs        | 35186        | 35836        |
| 298 | 33    | Pecena proizvodnja | Prevoznica iza peci          | Waiting %                       | 6,33         | 4,6          |
| 299 | 33    | Pecena proizvodnja | Prevoznica iza peci          | Working %                       | 93,67        | 95,4         |
| 307 | 35    | Istovar            | Pomocni kolosjek iza peci    | Items Entered                   | <b>35186</b> | <b>35836</b> |
| 319 | 40    | Istovar            | Istovar pecene               | Average use                     | 0,9          | 0,91         |
| 321 | 40    | Istovar            | Istovar pecene               | Number of Completed Jobs        | 35185        | 35835        |
| 322 | 40    | Istovar            | Istovar pecene               | Waiting %                       | 10,41        | 8,75         |
| 323 | 40    | Istovar            | Istovar pecene               | Working %                       | 89,59        | 91,25        |
| 327 | 41    | Istovar            | Lancani transporter          | Current Contents                | 1            | 0            |
| 331 | 41    | Istovar            | Lancani transporter          | Number of Completed Jobs        | <b>34645</b> | <b>35484</b> |
| 332 | 41    | Istovar            | Lancani transporter          | Waiting %                       | 15,79        | 13,75        |
| 333 | 41    | Istovar            | Lancani transporter          | Working %                       | 84,21        | 86,25        |
| 339 | 42    | Istovar            | Slaganje paleta              | Average use                     | 0,81         | 0,84         |
| 341 | 42    | Istovar            | Slaganje paleta              | Number of Completed Jobs        | <b>34644</b> | <b>35483</b> |
| 342 | 42    | Istovar            | Slaganje paleta              | Waiting %                       | 17,8         | 15,81        |
| 343 | 42    | Istovar            | Slaganje paleta              | Working %                       | 82,2         | 84,19        |
| 347 | 43    | Istovar            | Horizontalno vezivanje       | Current Contents                | 0            | 1            |
| 349 | 43    | Istovar            | Horizontalno vezivanje       | Average use                     | 0,8          | 0,82         |
| 351 | 43    | Istovar            | Horizontalno vezivanje       | Number of Completed Jobs        | <b>34644</b> | <b>35482</b> |
| 352 | 43    | Istovar            | Horizontalno vezivanje       | Waiting %                       | 19,81        | 17,87        |
| 353 | 43    | Istovar            | Horizontalno vezivanje       | Working %                       | 80,19        | 82,13        |
| 359 | 44    | Istovar            | Vertikalno vezivanje         | Average use                     | 0,77         | 0,78         |
| 361 | 44    | Istovar            | Vertikalno vezivanje         | Number of Completed Jobs        | <b>34643</b> | <b>35481</b> |
| 362 | 44    | Istovar            | Vertikalno vezivanje         | Waiting %                       | 23,82        | 21,97        |
| 363 | 44    | Istovar            | Vertikalno vezivanje         | Working %                       | 76,18        | 78,03        |
| 369 | 45    | Istovar            | Foliranje                    | Average use                     | 0,8          | 0,82         |
| 371 | 45    | Istovar            | Foliranje                    | Number of Completed Jobs        | <b>34642</b> | <b>35480</b> |
| 372 | 45    | Istovar            | Foliranje                    | Waiting %                       | 19,81        | 17,87        |
| 373 | 45    | Istovar            | Foliranje                    | Working %                       | 80,19        | 82,13        |
| 379 | 46    | Istovar            | Transport formiranih paleta  | Average use                     | 0,69         | 0,7          |
| 381 | 46    | Istovar            | Transport formiranih paleta  | Number of Completed Jobs        | <b>34641</b> | <b>35479</b> |
| 382 | 46    | Istovar            | Transport formiranih paleta  | Waiting %                       | 31,84        | 30,19        |
| 383 | 46    | Istovar            | Transport formiranih paleta  | Working %                       | 68,16        | 69,81        |
| 387 | 47    | Istovar            | Skladiste gotovih proizvoda  | Number Completed                | <b>34641</b> | <b>35479</b> |
| 388 | 47    | Istovar            | Skladiste gotovih proizvoda  | Minimum Time in System          | 48,74        | 48,7         |
| 389 | 47    | Istovar            | Skladiste gotovih proizvoda  | Average Time in System          | 25083        | 24745,3      |
| 390 | 47    | Istovar            | Skladiste gotovih proizvoda  | Maximum Time in System          | 50136        | 49463,9      |
| 391 | 47    | Istovar            | Skladiste gotovih proizvoda  | St Dev of                       | 14454        | 14265,6      |
| 398 | 48    | Istovar            | Kontrola pecenih proizvoda   | Number of Completed Jobs        | <b>35185</b> | <b>35835</b> |
| 404 | 49    | Istovar            | Peceni lom                   | Current Items                   | 539          | 351          |
| 406 | 49    | Istovar            | Peceni lom                   | Average queue size              | 267,08       | 171,43       |
| 407 | 49    | Istovar            | Peceni lom                   | Maximum queue size              | 539          | 351          |
| 408 | 49    | Istovar            | Peceni lom                   | Items Entered                   | <b>539</b>   | <b>351</b>   |

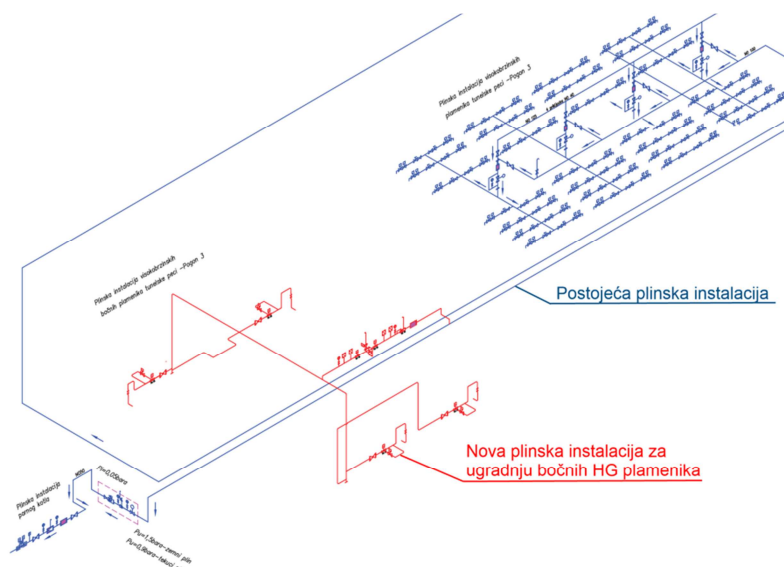
Prijedlozi mjera za otklanjanje nedostataka, identificiranih u analizi procesa pečenja i potvrđenih simulacijom, su slijedeći:

- 1) Ugradnja brzoučinskih HG plamenika u bočni zid tunelske peći u visini donjih redova paketa na vagonu tunelske peći ispred prve grupe tavaničnih ložnih grupa brzoučinskih HG plamenika (pozicija 12.). Ugradnja tih plamenika znatno bi poboljšala proces predgrijavanja opeke u donjim redovima paketa što je identificiran kao glavni problem procesa pečenja. Imajući u vidu činjenicu da je proces pečenja opekarskih proizvoda kontinuiran proces, tako da promjenama temperaturnog režima jedne zone ujedno mijenjamo i temperaturni režim drugih zona u tunelskoj peći. Može se sa punim pravom reći da će ugradnja bočnih plamenika imati pozitivan efekt i na proces pečenja opeke donjih redova na vršnoj vatri. Naime, donji redovi paketa dolaze do zone vatre nedovoljno pripremljeni (preniska temperatura), stoga, ne mogu dosegnuti, u punoj mjeri, vršnu temperaturu pečenja. Posljedica dostizanja vršne temperature pečenja donjih redova paketa imati će pozitivne učinke na rješavanje problema prolaska kritične temperature (kvarne pretvorbe) u zoni brzog hlađenja, tako da će se kvarca pretvorba premjestiti prema kraju peći tj. opeka će prolaziti kroz kvarcu pretvorbu sa ublaženim padom temperature. Nadalje, ugradnjom bočnih plamenika produžiti će se zona pečenja, pa je moguće smanjiti interval pogurivanja kompozicije vagona tunelske peći, odnosno moguće je povećati obim proizvodnje. Može se rezimirati: ugradnja bočnih plamenika riješiti će probleme predgrijavanja opeke u donjim redovima paketa, djelomično će riješiti probleme nedostizanja vršne vatre u zoni pečenja i prelaska kvarcne pretvorbe u zoni brzog hlađenja, što stvara i pretpostavke rasta obima proizvodnje.
- 2) Balansiranje klapni usisa ventilatora dimnjaka na početku peći u cilju jednoličnog predgrijavanja opeke na lijevoj i desnoj strani peći. Balansiranje treba izvršiti poslije ugradnje bočnih plamenika.

- 3) Balansiranje snage brzoučinskih HG plamenika i injektorskih plamenika u cilju jednoličnog pečenja opeke u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Balansiranje valja obaviti poslije ugradnje bočnih plamenika.
- 4) Balansiranje puhalica okolišnog zraka u zoni brzog hlađenja kako bi hlađenje opeke na lijevoj i desnoj strani peći bilo ravnomjerno. Balansiranje grupa puhalice s cilindričnim i koničnim završetkom sa svrhom ravnomjernog hlađenja opeke u gornjih i donjim redovima paketa. Balansiranje je potrebno izvršiti poslije ugradnje bočnih plamenika.

Imajući u vidu da je prijedlog ugradnje bočnih plamenika nedvosmisleno opravdan, može se dati i kratki pregled implementacije predloženog rješenja:

1. projektiranje preinake plinske instalacije, prikazane na Slika 59.,



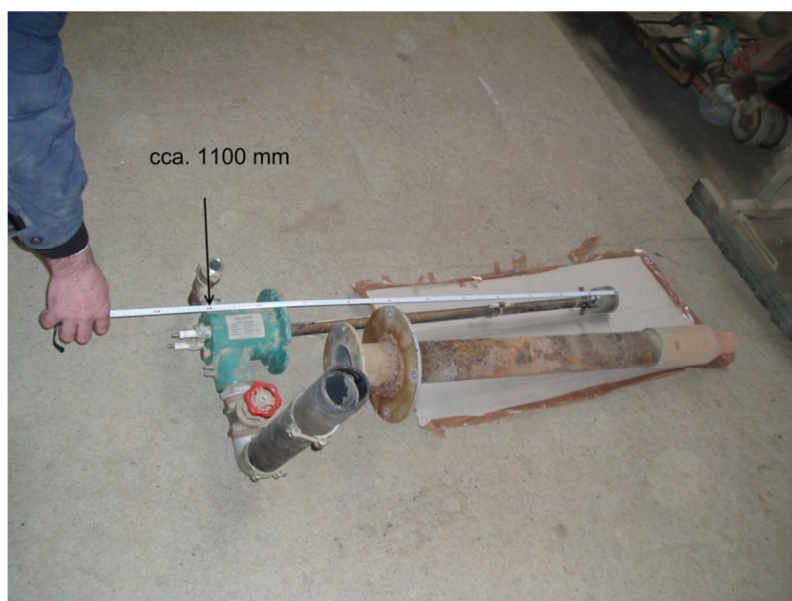
**Slika 59. Preinake plinske instalacije**

2. demontaža postojećih plamenika, automatika, ventilatora zraka za sagorijevanje i plinske rampe iz zatvorenog pogona u vlasništvu korporacije, na Slika 60.,



**Slika 60. Demontaža bočnih HG plamenika**

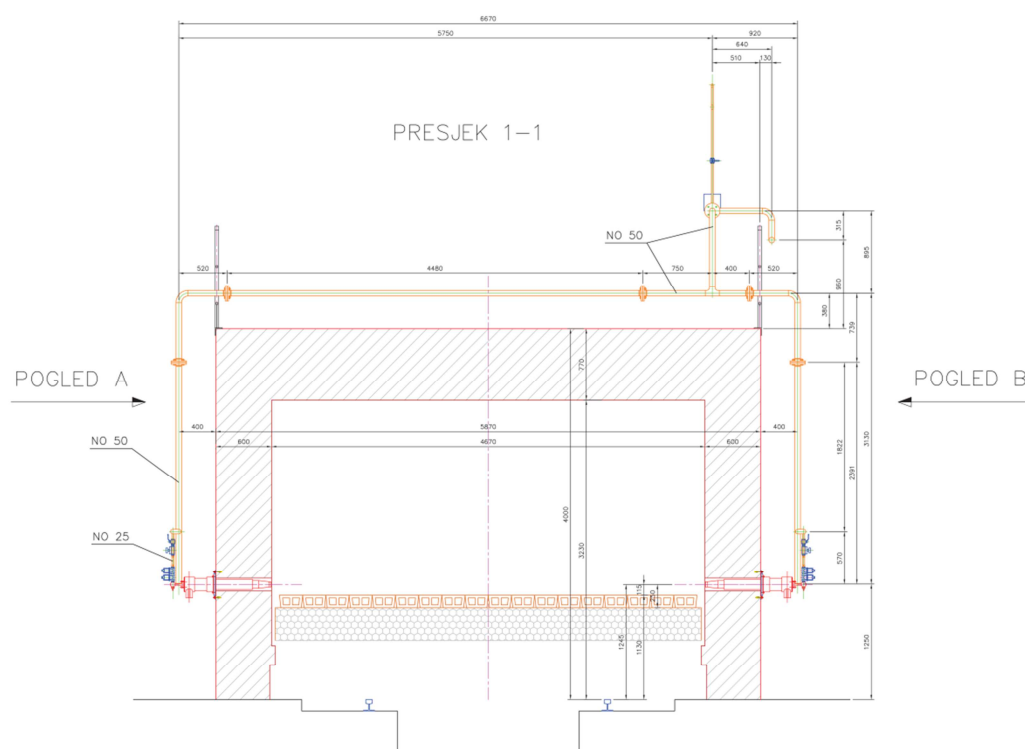
3. provjera stanja plamenika, repariranje ukoliko je potrebno, na Slika 61.,



**Slika 61. Provjera stanja plamenika**

4. narudžba osnovnih potrošnih dijelova plamenika (wolfram-karbidna čahura za sagorijevanje, elektrode),
5. bušenje bočnih zidova tunelske peći, prikazano na Slika 62. i Slika 63.,





**Slika 62. Presjek peći u zoni bočnih plamenika**



**Slika 63. Izbušeni bočni zid peći za prihvat plamenika**

6. izrada preinaka plinske instalacije,
7. ugradnja novih temperaturnih sondi,
8. povezivanje nove ložne grupe sa postojećim upravljanjem tunelske peći,
9. montaža plamenika,
10. puštanje u rad plamenika od strane ovlaštene osobe.

Osiguranje postignute razine procesa je od velikog značaja, stoga, mora se onemogućiti kontinuirano ili trenutno vraćanje na staro, uslijed nepredviđenih situacija ili pomanjkanja nadzora. To se može ostvariti slijedećim aktivnostima:

- intenzivnom komunikacijom sa sudionicima u procesu,
- svakodnevnom analizom postignutih rezultata,
- treningom i edukacijom zaposlenika,
- striktnim provođenjem novih procedura,
- periodičkim godišnjim snimanjem temperaturnog režima pečenja opekarskih proizvoda,
- intenziviranjem frekvencije tvorničke kontrole suhe i pečenje proizvodnje,
- internim nadziranjem tehničkog kontrolinga.

## 7. ZAKLJUČAK

Može li se na kraju reći da je prikazani proces proizvodnje opekarskih proizvoda optimiran? Dakako da ne. Proizvodni proces je nedvojbeno poboljšán, povećána mu je razina učinkovitosti, jedinična potrošnja energije je pala, jedinični proizvodni troškovi također su pali, pogonska sigurnost i kakvoća je povećána. Međutim, bez obzira na stalne aktivnosti i napore u cilju poboljšavanja procesa, sustav nije optimalan, a neće ni biti. Stoga, aktivnosti optimiranja proizvodnih procesa su nužne, ujedno su također i trajne aktivnosti koje će pratiti svaki proizvodni proces kroz njegov cjelokupni životni vijek.

Proces primarne prerade je poboljšán tako da je prikazan način primjene održavanja po stanju, koje ujedinjuje smanjenje troškova energije i održavanja, povećanje raspoloživosti opreme i pogonske sigurnosti, ali i povećanje kvalitete pojedinih procesa, pa time i kvalitete gotovog proizvoda. Budući da kod strojeva u procesu pripreme i oblikovanja dolazi do izraženog trošenja zbog visoke abrazivnosti sirovine, kao i zbog činjenice da je moguće otkriti korelaciju jakosti struje elektromotora pojedinih strojeva sa stupnjem istrošenosti potrošnih dijelova, postoji mogućnost usvajanja koncepcije održavanja po stanju. Veoma je važno da nisu potrebni skupi dijagnostički uređaji, jer stanje potrošnih dijelova strojeva jednostavno je odrediti mjerenjem pomičnim mjerilom ili očitavanjem amper metra pojedinog elektromotora.

Tijekom ekstrudiranja sirovine kroz alat u procesu oblikovanja, dolazi do trošenja alata tj. keramičkih jezgri i keramičkog okvira zbog izrazito abrazivne prirode sirovine (posebice pijeska). Trošenje jezgri i okvira alata rezultira povećanjem mase opeke, te uzrokuje: povećani utrošak sirovine (gline, piljevine, pijeska), povećanu potrošnju električne energije za preradu, povećanu potrošnju toplinske energije (prirodnog plina) u procesima sušenja i pečenja i povećano trošenje strojeva koji prerađuju sirovinu. Spomenute posljedice dovode do znatnog povećanja troškova proizvodnje. Prikazan je alat kojim je moguće, uz praćenje težine sirove opeke i količine koja je ekstrudirana kroz određeni alat, odrediti točku koja upućuje da je racionalno

promijeniti dijelove alata, jer su troškovi nabavke potrošnog dijela alata manji od troškova dodatnog materijala koji nastaje upotrebom postojećeg istrošenog alata.

Izvršeno je mjerenje otvorenosti zaklopke ispusta toplog i vrućeg zraka prije sušare pogona KA2, kao i protoka u ovisnosti od stupnja otvorenosti zaklopke. Mjerenje je pokazalo da se kroz obje zaklopke ispušta  $23\,481\text{ m}^3/\text{h}$  toplog i vrućeg zraka, energetske vrijednosti  $2\,635\,664\text{ kJ/h}$  ili  $80\text{ m}_n^3/\text{h}$  prirodnog plina (ili  $1920\text{ m}_n^3/\text{dan}$ ). U cilju smanjenja ispuštanja otpadne topline izvršeni su slijedeći zahvati u procesima sušenja i pečenja pogona KA2, od kojih su važniji: povećanje temperature predkomore tunelske peći zaklopkom A1, postizanje jednolikog profila strujanja dimnih plinova unutar vatrenog kanala regulacijom zasuna dimnih otvora, optimiranje temperaturnog režima pečenja u vatrenom kanalu tunelske peći i povećavanje temperature zraka za izgaranje injektorskih plamenika, promjena režima rada plamenika recirkulacije vlažnog zraka u cilju maksimalnog iskorištenja dobivenog toplog i vrućeg zraka iz tunelske peći. Valorizacija obavljenih zahvata pokazala je slijedeće rezultate: ostvarenje budžeta se povećalo 19%, ostvarenje kapaciteta se povećalo 13%, potrošnja prirodnog plina je pala 15% i potrošnja električne energije se smanjila 6%.

Izvršeno je detaljno mjerenje temperaturnih režima tunelske peći pogona KA3, koje je otkrilo slijedeće probleme u procesu pečenja. Naime, u zoni predgrijavanja uočljivo je karakteristično razdvajanje krivulja temperatura, tako da gornji dio paketa ima najvišu temperaturu, zatim srednji dio paketa, dok njegov donji dio ima najnižu temperaturu. Takva nejednolika dinamika zagrijavanja izrazito negativno utječe na kvalitetu gotovog proizvoda. U zoni vatre opaža se neujednačenost temperature po širini tunelske peći. U zoni hlađenja gornji i srednji redovi paketa pravilno prolaze kroz kritičnu temperaturu (kvarcnu pretvorbu), ali donji redovi prolaze pretvorbu u zoni brzog hlađenja, što može uzrokovati rapidni pad kvalitete gotovog proizvoda, odnosno pojavu finih pukotina. Nadalje, na temelju analize i provedene simulacije, prikazane su mjere za otklanjanje spomenutih nedostataka: ugradnja brzoučinskih HG plamenika u bočni zid tunelske peći, u visini donjih redova paketa na vagonu tunelske peći, ispred prve grupe tavaničnih ložnih grupa brzoučinskih HG plamenika;



balansiranje klapni usisa ventilatora dimnjaka na početku peći; balansiranje snage brzoučinskih HG plamenika i injektorskih plamenika u cilju jednoličnog pečenja opeke u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini; balansiranje puhalica okolišnog zraka u zoni brzog hlađenja. Nadalje, dan je i kratki pregled implementacije predloženog rješenja.

Budući da je proces pečenja u proizvodnji opekarskih proizvoda po mnogočemu ključan, te da je analiza procesa pečenja i simulacija novoga stanja pokazala da tunnelska peć i nakon implementacije predloženih rješenja jest usko grlo, razumno je i dalje nastaviti optimiranje procesa pečenja. Također, imajući u vidu relativno visoku cijenu prirodnog plina, treba temeljito i svestrano razmotriti uporabu krutih goriva, poput petrol koksa, doziranog u sirovinskoj smjesi.

## 8. LITERATURA

- [1] Dr. Željko Majcen: Troškovi u teoriji i praksi, Informator, Zagreb, 1988.
- [2] Grupa autora – Inženjerski priručnik IP4, Proizvodno strojarstvo, Treći svezak, Organizacija proizvodnje, I izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2002.
- [3] Grupa autora: Masmedijin poslovni rječnik, Masmedia, 1991.
- [4] Industrial Engineer, članak „Six sigma myths busted“, ožujak 2010.
- [5] L. J. Arthur: Six Sigma Simplified, Breakthrough Improvement Made Easy 3rd ed., LifeStar, 2004.
- [6] M. Federico, R. Beaty: Six Sigma Team Pocket Guide, The McGraw-Hill Companies, 2003.
- [7] Michael Hammer, James Champy: Reinženjering tvrtke, manifest za poslovnu revoluciju, Mate, Zagreb, 2005.
- [8] P. A. Keller, T. Pyzdek: Six Sigma Demystified, The McGraw-Hill Companies, 2005.
- [9] P. Shee: The Black Belt Memory Jogger: A Pocket Guide for Six Sigma Success, GOAL/QPC (Growth Opportunity Alliance of Lawrence), 2002.
- [10] P.Pande, L.Hollp: What is SIX SIGMA?, The McGraw-Hill Companies, 2002.
- [11] Peter S. Pande, Robert P. Neuman, Roland R. Cavanagh: The Six Sigma Way, The McGraw-Hill Companies, 2000.
- [12] S. Chowdhury: Design for Six Sigma, Kaplan Publishing, 2002.
- [13] Subramanian Muthu, Larry Whitman, and S. Hossein Cheraghi: Business process Reengineering: A Consolidated methodology, Proceedings of The 4th

- Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice November 17-20, San Antonio, Texas, USA, 1999.
- [14] Wienerberger Ilovac: Tehnička dokumentacija Wienerberger Ilovac – Mjerenja temperaturnog režima procesa pečenja (mjerni vagon) – KA, Karlovac, 2008.-2011.
- [15] Wienerberger Ilovac: Tehnička dokumentacija Wienerberger Ilovac - Upute za rad na siguran način – KA2, Karlovac, 2008.
- [16] Wienerberger Ilovac: Tehnička dokumentacija Wienerberger Ilovac – Proces pečenja, Karlovac, 2008.
- [17] Wienerberger Ilovac: Tehnička dokumentacija Wienerberger Ilovac – Tehnička dokumentacija KA2, Karlovac, 2000.
- [18] Wienerberger Ilovac: Tehnička dokumentacija Wienerberger Ilovac – Tehnička dokumentacija KA3, Karlovac, 2000.
- [19] <http://www.grantinstruments.com/>
- [20] <http://www.sigmaflow.com/>
- [21] <http://www.wienerberger.com/>
- [22] <http://www.wienerberger.hr/>

## Životopis

Predrag Grahovac rođen je 1975. godine u Zagrebu, Republika Hrvatska. Nakon završetka srednje škole „III Gimnazija“ 1994. godine, upisao je studij strojarstva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. U srpnju 2003. godine diplomirao je na katedri Industrijskog inženjerstva.

Zaposlenik je tvrtke „Pet-Prom d.o.o.“ od 2003. do 2008. godine na mjestu Inženjera tehničke podrške i prodaje, u području instalacije plina, regulacije i mjerenja plina. Položio je stručni ispit u strukovnom području strojarstva (Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva Republike Hrvatske).

Pridružio se Wienerberger grupi 2008. godine u svojstvu Voditelja investicijskih projekata i kasnije Voditelja energetike i tehničkih projekata u odjelu Inženjeringa. Bio je zadužen za vođenje projekata u opekarskoj industriji – otvaranje novih i modernizacija postojećih proizvodnih pogona, izrada detaljnog plana realizacije projekata, vođenje projekata i koordiniranje svih aktivnosti unutar projekata, rješavanje problema i optimiranje postojećih kapaciteta, postizanje zadanih standarda (količine, kvaliteta, potrošnja energije i proizvodni troškovi), kontrola kvalitete i termina, vođenje projektne dokumentacije i izvještavanje. Nakon obavljanja dužnosti na prostorima Hrvatske, Srbije i Slovenije, odlazi iz Wienerbergera 2012. godine.

U periodu od 2012. do 2013. godine radio je u HEP-Toplinarstvo d.o.o., lokalnoj tvrtki daljinskog grijanja na radnom mjestu Voditelja izgradnje. Bio je zadužen za vođenje projekata, nadzor rekonstrukcija toplinskih stanica i puštanja toplinskih podstanica u rad.

U dosadašnjem radnom iskustvu pohađao je brojne domaće i međunarodne stručne seminare. Aktivno se služi engleskim jezikom i živi u Zagrebu.

## **Biography**

Predrag Grahovac was born in 1975 in Zagreb, Republic of Croatia. After he completed high school “III Gymnasium” in 1994, he enrolled in the study of mechanical engineering at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb. In July of 2003 he graduated from Department of Industrial Engineering.

From 2003 to 2008 he worked at “Pet-Prom d.o.o.” as Technical support and sales engineer in the field of gas installations, gas regulation and measurement. He finished in 2007 Professional Engineering Exam, mechanical engineering (Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction, Republic of Croatia).

In 2008 he joined Wienerberger group as Head of investment projects and later as Head of Energy and technical project engineering. There he was in charge of managing projects in brick industry - creating new and modernization of existing manufacturing plants, making detailed plan for project implementation, project management and coordination of all activities within projects, troubleshooting and optimization of existing capacity, achieving specific standards (quantity, quality, energy consumption and production costs), quality control and scheduling, managing project documentation and reporting. After performing his duties in Croatia, Serbia and Slovenia, he left Wienerberger in 2012.

From 2012 to 2013 we worked at HEP-Toplinarstvo d.o.o., local district heating system company as Investment engineer. There he was responsible for investment project management, supervision of heating substation reconstructions and heating substations commissioning.

During his professional life he participated in numerous local and international professional trainings. He is proficient in English and lives in Zagreb.